

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень


Інформаційна система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення  
Назва теми

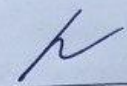
КвРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ  
Шифр

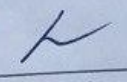
Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 126 «Інформаційні системи та технології»  
Шифр, назва


Освітня програма «Інформаційні системи та технології»  
Назва

Виконав: студент IV курсу, група ІСТ-21-1  Данііл ПУЖАКОВ  
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник  Тетяна КИСІЛЬ  
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер  Тетяна КИСІЛЬ  
Підпис, дата Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

 Ольга ПАВЛОВА  
Підпис Ініціали, прізвище

«9» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

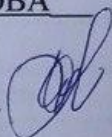
Спеціальність 126 ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

Освітня програма «ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.



## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Пужаков Данііл

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Інформаційна система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення

Керівник проекту (роботи) Тетяна КИСІЛЬ, к.ф.-м.н., доц.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення та постановка задачі щодо її удосконалення

Проектування системи моніторингу якості повітря та автоматичного очищення

Програмно-апаратна реалізація моніторингу якості повітря та автоматичного очищення

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аналіз характеристик

Схема функціональна

Схема інтерфейса системи

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання

« 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування системи моніторингу якості повітря та автоматичного очищення	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування системи моніторингу якості повітря та автоматичного очищення	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис

Данііл ПУЖАКОВ  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Тетяна КИСІЛЬ  
Ініціали, прізвище

№  
Р  
я  
д  
к  
а

1

2



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Інформаційна система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення».

Автор роботи: Пужаков Данііл.

Керівник роботи: Кисіль Тетяна Миколаївна.

Пояснювальна записка: 60 с., 10 рис., 3 дод., 50 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

**ВЕНТИЛЯЦІЯ, ОЧИЩЕННЯ, ВОЛОГА, МОНІТОРИНГ, ПОВІТРЯ.**

Метою дипломної роботи є розробка та впровадження системи моніторингу якості повітря з функцією автоматичного очищення, що поєднує сенсорні технології, інтелектуальну обробку даних та візуалізацію екологічних показників для підвищення рівня безпеки у внутрішньому середовищі.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу та очищення повітря у закритих приміщеннях.

Предметом дослідження є система, що забезпечує збір, аналіз і реагування на перевищення допустимих рівнів забруднення повітря, зокрема часток PM2.5.

Під час проведення даного дослідження був використаний метод систематичного огляду літератури для вивчення і аналізу предметної області даного дослідження з текстових джерел інформації.

  
Підпис студента

30.05.2025

Дата

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ</b> .....	6
1.1 Проблема забрудненості повітря.....	6
1.2 Технологічні аспекти контролю якості повітря.....	9
1.3 Об'єкт і предмет дослідження.....	12
1.4 Постановка задачі.....	14
<b>2 ОПИС ВИКОРИСТАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ</b> .....	17
2.1 Сучасний стан і тенденції у сфері моніторингу якості повітря.....	17
2.2 Класифікація та властивості забруднювачів повітря.....	20
2.3 Технології збору, обробки та візуалізації екологічних даних.....	23
2.4 Існуючі системи очищення повітря та принципи їх роботи.....	26
2.5 Висновки до розділу 2.....	29
<b>3 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ</b> .....	32
3.1 Загальна архітектура та принципи роботи системи.....	32
3.2 Апаратна частина системи.....	34
3.3 Програмна реалізація та логіка керування.....	37
3.4 Інтерфейс користувача та візуалізація даних.....	40
3.5 Тестування системи.....	44
3.5.1 Результати експериментів.....	45
3.5.2 Аналіз ефективності автоматичного очищення.....	48
3.5.3 Порівняння з аналогічними рішеннями.....	52
3.6 Висновки до розділу 3.....	55
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	57
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b> .....	59
<b>ДОДАТОК А</b> .....	64
<b>ДОДАТОК Б</b> .....	65
<b>ДОДАТОК В</b> .....	66

				КвРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ			
Зм. Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата	Інформаційна система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення	Літера	Аркуш	Аркущів
Виконав	Лужаков	<i>[підпис]</i>	2022.11		у	2	72
Перевір.	Тетяна КИСЛІЬ	<i>[підпис]</i>		ХНУ ICT-21-1			
Н.контр.	Тетяна КИСЛІЬ	<i>[підпис]</i>	2022.11				
Затвер.	Ольга ПАВЛОВА	<i>[підпис]</i>	2022.11				

## ВСТУП

Система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення є актуальним напрямом у сфері екологічної безпеки та охорони здоров'я. У сучасному світі рівень забруднення повітря постійно зростає через викиди промислових підприємств, транспортні засоби, сільськогосподарську діяльність, неконтрольоване спалювання відходів та інші антропогенні фактори. Це негативно впливає не лише на здоров'я людей, сприяючи розвитку респіраторних, алергічних та серцево-судинних захворювань, але й на всю екосистему, зокрема на стан ґрунтів, водних ресурсів та біорізноманіття. Внаслідок цього погіршується якість життя населення, зростає навантаження на медичні установи, а також збільшуються економічні втрати, пов'язані з лікуванням захворювань, спричинених забрудненим повітрям.

Забруднення повітря є глобальною проблемою, що торкається не лише великих міст, а й віддалених регіонів, де відбувається природне накопичення токсичних речовин у повітряних потоках. Викиди в атмосферу супроводжуються утворенням смогу, кислотних дощів та парникових газів, що спричиняє глобальні кліматичні зміни та створює додаткове навантаження на довкілля. У багатьох країнах розробляються міжнародні стратегії та програми для боротьби із забрудненням повітря, однак ефективність їх впровадження залежить від технологічного прогресу у сфері екологічного моніторингу та автоматизації процесів очищення повітря.

З огляду на ці проблеми, необхідність впровадження ефективних систем моніторингу та очищення повітря стає дедалі більш очевидною. Технологічний прогрес дозволяє розробляти автоматизовані рішення, що забезпечують безперервне відстеження рівня забруднення, аналіз отриманих даних та своєчасне реагування на виявлені відхилення. Такі системи можуть функціонувати як у межах окремих будівель (житлових, комерційних, промислових), так і у

					КвРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	Інформаційна система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення	Літера	Арк.вш	Арк.вшів
Виконав		Пужаков				у		
Перевір.		Тетяна КИСІЛЬ					2	72
Н.контр.		Тетяна КИСІЛЬ				ХНУ ІСТ-21-1		
Затвер.		Ольга ПАВЛЮВА						

масштабах цілих міських районів або промислових зон, де рівень забруднення особливо високий.

Сучасні автоматизовані системи моніторингу якості повітря базуються на використанні високочутливих сенсорів, які здатні виявляти концентрацію шкідливих речовин, таких як тверді частинки (PM2.5, PM10), оксиди азоту (NOx), діоксид сірки (SO2), чадний газ (CO), леткі органічні сполуки (VOC) та інші токсичні гази. Дані, отримані від сенсорів, передаються до центрального обчислювального модуля, де аналізуються за допомогою алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту. На основі результатів аналізу система приймає рішення про активування механізмів очищення повітря, таких як фільтраційні установки, системи вентиляції, іонізатори або інші технології очищення.

Інтеграція таких рішень у повсякденне життя дозволяє значно підвищити рівень комфорту та безпеки для населення, особливо у великих містах, де проблема забруднення повітря стоїть найбільш гостро. Крім того, використання таких систем сприяє зниженню екологічного навантаження та мінімізації негативного впливу шкідливих речовин на довкілля. Впровадження автоматизованих систем очищення повітря також є важливим кроком у контексті глобальних ініціатив щодо боротьби зі змінами клімату та зменшення рівня викидів парникових газів.

Метою даної роботи є розробка та дослідження автоматизованої системи моніторингу якості повітря та її очищення. Для досягнення цієї мети необхідно виконати аналіз існуючих методів моніторингу та очищення, розробити концепцію функціонування системи, реалізувати прототип та провести його тестування. В результаті дослідження очікується створення ефективного рішення, що забезпечить контроль за станом повітря та своєчасне усунення забруднень, сприяючи покращенню екологічної ситуації. Окрім цього, результати дослідження можуть бути використані для подальшого розвитку систем очищення повітря та адаптації їх до специфічних умов експлуатації, що зробить їх ще більш ефективними та універсальними. Крім того, результати можуть бути корисними

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для розробки державних екологічних програм, спрямованих на підвищення якості атмосферного повітря, розробки нових стандартів забруднення та формування більш екологічно свідомого суспільства.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Проблема забрудненості повітря

Забруднення атмосферного повітря залишається однією з найгостріших, комплексних та багатогранних екологічних проблем XXI століття. Усі континенти, незалежно від рівня економічного розвитку країн, стикаються з наслідками погіршення якості повітря. Ця тенденція стала результатом тривалого й часто неконтрольованого техногенного впливу на довкілля. Сучасне суспільство, прагнучи до технологічного прогресу, змушено розплачуватися зростанням екологічної небезпеки, серед якої забруднення повітря займає особливе місце через свою всеохопність і безпосередній вплив на здоров'я мільйонів людей.

На перший план у переліку джерел забруднення виходить промисловість, яка продукує значні обсяги викидів різноманітних шкідливих речовин. Підприємства металургійної, хімічної, цементної, нафтопереробної галузей є основними джерелами оксидів сірки, азоту, вуглецю, а також важких металів. Додатково, значне навантаження на атмосферу створює транспорт - як особистий, так і комерційний. Зростання кількості автомобілів на дорогах великих міст призводить до утворення густого смогового шару, особливо в умовах антиклонічної погоди. При цьому основними забруднювачами є чадний газ, діоксиди азоту, вуглеводні та мікрочастинки, що можуть залишатися в повітрі тривалий час і проникати глибоко в легені людини.

До числа факторів, що посилюють проблему, належать також енергетичний сектор, зокрема електростанції, які спалюють викопне паливо - вугілля, мазут, природний газ. Спалювання біомаси у сільській місцевості, особливо в країнах, що розвиваються, є ще одним джерелом твердих частинок та чадного газу. Не можна залишати поза увагою і сільське господарство - надмірне застосування пестицидів, добрив і спалювання стерні сприяє викиду аміаку та дрібнодисперсного пилу.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наукові дослідження неодноразово засвідчували, що довготривале перебування в умовах забрудненого повітря може мати серйозні наслідки для здоров'я. Токсичні речовини здатні проникати в кровоносну систему, уражати внутрішні органи, знижувати імунний захист організму. Найбільше страждають вразливі групи населення: діти, люди похилого віку, особи з хронічними захворюваннями. Наприклад, рівень госпіталізацій через бронхіальну астму або хронічне обструктивне захворювання легень зростає пропорційно концентрації дрібнодисперсних часток у повітрі.

Статистика Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) свідчить про шокуючі масштаби проблеми: щороку понад 7 мільйонів людей у світі помирають через наслідки забруднення повітря, включаючи як зовнішнє (атмосферне), так і внутрішнє (в побуті, зокрема через недосконале опалення та вентиляцію). Більше того, це призводить до значного скорочення тривалості життя: мешканці густонаселених регіонів Азії, наприклад, втрачають у середньому від 3 до 6 років свого життя через постійний вплив забрудненого повітря.

Особливо гостро ця проблема стоїть у мегаполісах. Такі міста, як Пекін, Делі, Джакарта, Мехіко, Кайро та інші, регулярно фіксують перевищення граничнодопустимих концентрацій шкідливих речовин у повітрі. Нерідко ситуація досягає критичного рівня - індекс якості повітря (AQI) перевищує позначку 300, що класифікується як «небезпечний» або «надзвичайно шкідливий». Це змушує місцеві органи влади тимчасово зупиняти роботу заводів, запроваджувати обмеження на пересування транспорту, рекомендувати громадянам залишатися в приміщеннях і навіть закривати навчальні заклади.

Окрім загроз здоров'ю, забруднення повітря має також істотний економічний вимір. Згідно з аналітикою Європейського агентства з навколишнього середовища, щорічні економічні втрати через хвороби, спричинені неякісним повітрям, сягають понад 500 мільярдів євро лише в Європі. До них належать витрати на медичне обслуговування, втрати продуктивності праці через тимчасову непрацездатність або інвалідність, зниження врожайності у

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сільському господарстві. У США, за оцінками Гарвардської школи охорони здоров'я, забруднення повітря обходиться економіці у понад 800 мільярдів доларів на рік.

Слід наголосити, що атмосфера впливає і на аграрний сектор. Згубний вплив мають озон, оксиди азоту та сірки, які можуть пригнічувати ріст рослин, спричиняти хлороз, некроз листя, зменшення фотосинтетичної активності. Усе це негативно позначається на врожайності культур та якості продовольчої продукції, що, у свою чергу, впливає на безпеку харчування населення.

Забруднення повітря також тісно пов'язане з кліматичними змінами. Парникові гази - діоксид вуглецю, метан, закис азоту - затримують тепло в атмосфері, провокуючи підвищення середньої глобальної температури. Це спричиняє зміни кліматичних режимів, збільшення частоти стихійних лих, таких як посухи, паводки, урагани. Взаємозв'язок між якістю повітря та глобальними кліматичними процесами ще більше ускладнює проблему, роблячи її частиною глобального екологічного ланцюга.

Усе зазначене свідчить про надзвичайну актуальність та нагальність системного підходу до подолання цієї проблеми. Вирішення задачі забруднення повітря потребує впровадження новітніх технологій моніторингу, моделювання та прогнозування екологічного стану атмосфери. Особливо перспективними є напрямки, що поєднують сенсорні технології, аналіз великих даних, машинне навчання та візуалізацію, що дозволяє не лише своєчасно виявляти загрози, але й формувати ефективну стратегію реагування. У цьому контексті, розробка інтелектуальних систем контролю якості повітря має ключове значення для забезпечення сталого розвитку, збереження здоров'я людей та адаптації до викликів майбутнього.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2 Технологічні аспекти контролю якості повітря

Однією з найсерйозніших перепон для ефективного контролю стану атмосферного повітря є його непостійність: показники якості повітря можуть істотно змінюватися протягом однієї доби й залежати від великої кількості динамічних зовнішніх факторів. До них належать температура навколишнього середовища, рівень вологості, швидкість і напрямок вітру, атмосферний тиск, сезонні особливості, а також локальні джерела викидів - промислові підприємства, транспортні вузли, спалення органіки, побутові котли тощо.

У минулому моніторинг якості повітря здійснювався переважно з використанням стаціонарних лабораторій, які здійснювали періодичний забір проб повітря з подальшим аналізом у контрольних умовах. Хоча такий метод дозволяє досягнути високої точності, він є затратним, потребує людського ресурсу та не дозволяє оперативно реагувати на раптові сплески забруднення. В умовах стрімкого урбанізаційного розвитку та кліматичних змін подібний підхід вже не може забезпечити належний рівень контролю.

Революційні зміни в цій сфері стали можливими завдяки досягненням в галузі електроніки, телекомунікацій та штучного інтелекту. Сучасні цифрові системи моніторингу якості повітря дозволяють фіксувати екологічні показники в режимі реального часу, передавати дані до хмарних сховищ, проводити аналіз автоматично, а в разі потреби - навіть формувати попередження або рекомендації для органів влади та населення.

На відміну від громіздких лабораторних установок, сучасні сенсори є компактними, енергоефективними та відносно недорогими. Наприклад, пристрої PurpleAir можуть використовуватись як у приватних домогосподарствах, так і на громадських будівлях чи промислових об'єктах. Ці сенсори, використовуючи метод розсіювання світла, визначають кількість твердих частинок у повітрі (PM2.5 і PM10) і надсилають ці дані у хмару через Wi-Fi.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Один із ключових аспектів таких систем - можливість масштабування. Будь-який користувач, який придбав пристрій, може долучитися до глобальної мережі моніторингу, забезпечуючи таким чином більшу щільність покриття територій. Це дозволяє формувати теплові карти забрудненості навіть у районах, які раніше не були охоплені стаціонарними постами.

Завдяки широкому використанню смартфонів дані з сенсорів можуть бути представлені користувачеві у зручному вигляді через мобільні додатки. Це робить екологічну інформацію доступною не лише для фахівців, а й для пересічного громадянина. У багатьох додатках реалізовані системи оповіщення, які надсилають сповіщення у разі перевищення допустимих норм. Також передбачено персоналізовані поради - наприклад, рекомендація не виходити на пробіжку у разі підвищеного рівня PM2.5.

Паралельно розвиваються технології IoT (Internet of Things), що дозволяють екосистемам взаємодіяти автоматично. Наприклад, у рамках концепції «розумного міста» система кондиціонування в будинку може автоматично переходити в режим рециркуляції повітря, щойно рівень забруднення зовні перевищить норму. Такі технології не просто інформують, а й активно впливають на поведінку інфраструктури.

Крім наземних сенсорів, надзвичайно важливим джерелом даних залишаються супутники. Програма Sentinel-5P (рис. 1.2) Європейського космічного агентства стала проривом у сфері дистанційного зондування атмосфери. Супутник оснащений спектрометром TROPOMI, здатним щодня фіксувати концентрації озону, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> та інших полютантів з орбіти. Ці дані мають неоціненну цінність для створення прогнозних моделей, просторового аналізу забруднення та дослідження довготривалих тенденцій.

Оскільки супутникові дані мають глобальне покриття, вони є особливо корисними в регіонах, де наземні сенсори не встановлені або їхня щільність недостатня. Це дає змогу забезпечити об'єктивність і рівний доступ до екологічної інформації для всіх країн.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У межах України активно використовуються системи відкритого моніторингу - зокрема, вже згаданий SaveEcoBot, який працює як незалежний агрегатор даних із різних джерел. Він підтримує інтеграцію з такими системами, як Luftdaten, PurpleAir (рис. 1.1), OpenAQ, а також відображає дані державної мережі спостереження. Це приклад того, як інструменти громадянської участі можуть доповнювати державну екосистему та виконувати роль своєрідного контролера «знизу».

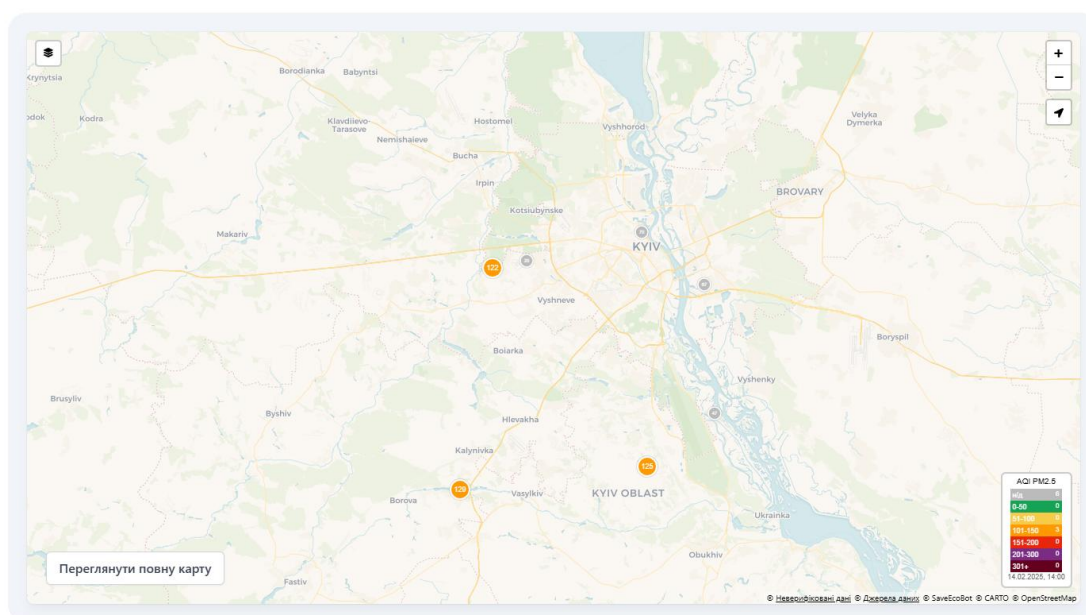


Рисунок 1.1 – Система PurpleAir



Рисунок 1.2 – Sentinel-5P

Ще одним прикладом на рівні місцевих ініціатив є системи, що встановлюються на об'єктах критичної інфраструктури (школи, лікарні, громадські простори) у рамках проєктів співпраці між ОТГ, міжнародними донорами та громадськими організаціями. Наприклад, в Івано-Франківську, Львові, Дніпрі встановлені десятки сенсорів, дані з яких доступні в онлайн-режимі.

### 1.3 Об'єкт і предмет дослідження

Об'єктом дослідження є процес автоматичного контролю параметрів мікроклімату в приміщеннях різного типу - житлових, офісних, виробничих та громадських. Мікроклімат приміщень визначається сукупністю фізичних характеристик середовища, зокрема температурою, вологістю, швидкістю руху повітря та концентрацією забруднювачів. Зміна будь-якого з цих параметрів може суттєво впливати як на комфорт перебування людей, так і на збереження техніки, продукції або матеріалів.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особлива увага в межах дослідження приділяється комплексному підходу до управління системами вентиляції та кондиціонування. Це передбачає інтеграцію численних сенсорів - датчиків температури, вологості, вуглекислого газу, а також інших екологічних параметрів - у єдину керуючу мережу. Такі сенсорні системи мають забезпечувати безперервний збір актуальних даних про стан середовища у реальному часі.

Об'єктом аналізу виступають також системи виконавчих механізмів: електровентилятори, клапани, кондиціонери, які автоматично реагують на зміну мікрокліматичних показників. Досліджуються взаємозв'язки між змінами параметрів середовища та діями керуючих пристроїв, із метою забезпечення оптимального комфорту за мінімальних енергетичних витрат.

У фокусі об'єкта дослідження також знаходиться питання адаптивності та масштабованості системи до різних типів приміщень - від невеликих квартир до великих виробничих об'єктів із багатокомпонентними системами вентиляції.

Предметом дослідження є методи, засоби та технології автоматизації процесів вентиляції і кондиціонування повітря, базовані на використанні сенсорних даних про стан середовища. Особливий акцент зроблено на вивченні і розробці алгоритмів прийняття рішень для автоматичного керування пристроями відповідно до поточних показників температури, вологості та інших параметрів.

У межах дослідження аналізуються як апаратні рішення - сенсорні модулі, контролери, виконавчі механізми - так і програмні компоненти, зокрема мікропрограмне забезпечення для обробки даних, системи моніторингу і візуалізації, алгоритми логіки керування. Важливим аспектом є розгляд підходів до розробки оптимальних режимів роботи системи, спрямованих на мінімізацію енергоспоживання без погіршення мікрокліматичних умов.

Окрему увагу приділено питанням енергоефективності, інтеграції систем вентиляції з іншими підсистемами розумного будинку чи промислового підприємства, наприклад із системами освітлення, опалення, безпеки.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також предметом вивчення є надійність і безпека роботи автоматизованої системи: обробка нештатних ситуацій, виявлення відмов елементів, забезпечення стійкості роботи при втраті зв'язку або збої живлення.

Крім того, досліджуються можливості використання засобів збору статистичних даних, довгострокового аналізу та самонавчання системи з метою подальшої оптимізації її функціонування залежно від сезонних змін або специфіки використання конкретних приміщень.

#### 1.4 Постановка задачі

У межах даної роботи було поставлено завдання створити ефективну систему автоматичного контролю та керування параметрами мікроклімату приміщень, спрямовану на підтримання оптимального рівня температури, вологості та якості повітря. Розробка системи передбачала інтеграцію апаратних та програмних рішень із використанням сучасних методів обробки даних та засобів інтернету речей (IoT).

Для досягнення поставленої мети застосовувалися методи системного аналізу, математичного моделювання та експериментальних досліджень. Системний аналіз дозволив комплексно оцінити вимоги до системи, визначити ключові параметри мікроклімату, що потребують моніторингу, та окреслити основні функціональні й нефункціональні вимоги з урахуванням специфіки експлуатаційних умов. Моделювання процесів вентиляції та теплообміну забезпечило можливість побудови оптимальних алгоритмів керування, що враховують залежність між змінами параметрів середовища та діями виконавчих механізмів.

Експериментальні дослідження проводилися з метою перевірки працездатності системи в реальних умовах експлуатації. Це дозволило виявити можливі недоліки в роботі апаратних компонентів і програмного забезпечення, а також оптимізувати алгоритми прийняття рішень на основі фактичних даних.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В якості основного апаратного засобу обрано мікроконтролер ESP32 - високопродуктивний пристрій із вбудованими модулями Wi-Fi та Bluetooth, що забезпечує широкі можливості для інтеграції системи у середовище «розумного будинку». Його вибір обумовлений поєднанням високої обчислювальної потужності, енергоефективності та гнучкої підтримки різноманітних протоколів зв'язку (HTTP, MQTT, WebSocket тощо), що відкриває можливості для масштабування і подальшої модернізації системи.

Для збору даних про параметри мікроклімату використано сенсори DHT22 та BME280.

- DHT22 забезпечує вимірювання температури й вологості з високою точністю і стабільністю в широкому діапазоні значень, що робить його ідеальним вибором для застосування в житлових та офісних приміщеннях;

- BME280, окрім температури і вологості, додатково вимірює атмосферний тиск, що дозволяє розширити функціональність системи, враховуючи зміну погодних умов та прогнозування тенденцій зміни кліматичних показників у приміщенні;

Програмне забезпечення розроблялося на основі середовища Arduino IDE, що дозволяє реалізувати гнучкі алгоритми обробки сенсорних даних, швидко тестувати різні варіанти логіки роботи і оперативно вносити зміни. Для забезпечення надійного зберігання зібраної інформації, аналізу статистики та візуалізації даних використовувалися хмарні сервіси, такі як Firebase, а також рішення на базі MySQL.

Передача даних у хмару дозволяє користувачам системи в режимі реального часу відстежувати показники мікроклімату через мобільні додатки або веб-інтерфейси, що значно підвищує зручність використання. Наявність історичних даних відкриває можливості для глибшого аналізу змін середовища та подальшого удосконалення налаштувань системи.

Для візуалізації інформації та зручної взаємодії з користувачем були реалізовані графічні інтерфейси, що відображають поточний стан температури,

вологості, атмосферного тиску, а також статус роботи вентиляційних або кондиціонуючих пристроїв. Наявність зручного графічного відображення дозволяє користувачеві оперативно приймати рішення про зміну режимів роботи або перегляд історичних даних для виявлення тенденцій.

Крім того, в межах роботи було розглянуто питання енергоефективності системи. Особлива увага приділялася оптимізації алгоритмів роботи виконавчих механізмів для мінімізації витрат електроенергії без погіршення комфорту користувача. Застосування сучасних протоколів зв'язку та технологій енергозбереження дозволяє значно підвищити загальну ефективність розробленої системи.

Таким чином, поставлені задачі охоплюють комплексний підхід до розробки кіберфізичної підсистеми керування мікрокліматом у межах концепції «Розумного будинку», що поєднує апаратну, програмну та аналітичну складові для створення сучасного, енергоощадного і надійного рішення.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ОПИС ВИКОРИСТАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

### 2.1 Сучасний стан і тенденції у сфері моніторингу якості повітря

На сучасному етапі технічного прогресу сформувалося нове бачення підходів до моніторингу навколишнього середовища, де ключовим елементом стало забезпечення прозорості, оперативності та широкої доступності екологічної інформації. Особливу увагу приділено саме контролю якості атмосферного повітря, оскільки воно безпосередньо впливає на самопочуття, працездатність та життєвий комфорт населення. За останнє десятиліття відбувся справжній технологічний прорив у сфері сенсорних систем, які здатні фіксувати найдрібніші концентрації забруднюючих речовин із високою точністю та частотою.

Поштовхом до розвитку цього напрямку стала потреба у безперервному, довготривалому та масштабованому спостереженні за екологічним станом повітря. Якщо в минулому основним методом аналізу була лабораторна експертиза відібраних проб, що займала багато часу та ресурсів, то тепер акцент зміщено на розробку автономних багатофункціональних пристроїв, які здатні працювати в польових умовах цілодобово. Такі пристрої вже не потребують постійного обслуговування та мають можливість інтеграції з хмарними сервісами, що дозволяє автоматично передавати показники у централізовані бази даних для подальшого аналізу.

Історично, ще на початку ХХ століття у більшості країн контроль за якістю повітря був епізодичним і суб'єктивним. Основними індикаторами забруднення вважалися видимий дим, кіптява на поверхнях, неприємні запахи. Відсутність чітких стандартів і технічних засобів робила будь-який контроль поверхневим і малоефективним. Лише після ряду техногенних катастроф, які мали широкий суспільний резонанс - зокрема, знаменитий лондонський смог 1952 року, де від забруднення повітря загинуло понад 12 тисяч осіб, - почалося активне формування перших екологічних служб та нормативних документів. Ці події

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стали поворотним моментом у глобальному усвідомленні важливості моніторингу атмосферного середовища.

У другій половині ХХ століття з'явилися перші автоматизовані стаціонарні станції контролю, які здатні були вимірювати концентрацію окремих компонентів, таких як діоксид сірки чи вуглекислий газ. Втім, їх точність часто обмежувалася складністю калібрування, громіздкістю та потребою у фаховому обслуговуванні. Проте вже у ХХІ столітті завдяки розвитку напівпровідникових технологій, мікроелектромеханічних систем (MEMS) та бездротового зв'язку ситуація докорінно змінилася. Було створено нове покоління цифрових сенсорів, що здатні фіксувати десятки показників одночасно: температуру, вологість, вміст CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, формальдегіду та інших речовин.

Ці технології активно інтегруються в інфраструктуру «розумних міст», які передбачають автоматизований обмін даними між різними компонентами міського середовища. Уже не рідкість, коли такі сенсори вбудовані у ліхтарні стовпи, зупинки громадського транспорту, шкільні двори чи адміністративні будівлі. Більше того, окремі розробки вже доступні для приватного використання - компактні прилади можна встановити на балконі чи в автомобілі, а дані виводяться безпосередньо на смартфон. Це призвело до формування нового інформаційного простору, де звичайні громадяни стають активними учасниками моніторингу навколишнього середовища.

Глобальну роль у сфері контролю якості повітря відіграють супутникові системи. Програма Copernicus Європейського космічного агентства, а також місії NASA, наприклад Sentinel-5P або MODIS, дають змогу отримувати знімки атмосферного складу з високою роздільною здатністю, що дозволяє виявляти трансграничні джерела забруднення, аналізувати динаміку викидів і прогнозувати поширення хмар шкідливих речовин. Завдяки поєднанню супутникових та наземних вимірювань створюється багаторівнева система моніторингу з глобальним охопленням.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У межах наукових досліджень та прикладних проєктів значного поширення набули алгоритми штучного інтелекту, зокрема машинного навчання. Сучасні моделі, побудовані на базі нейронних мереж, градієнтного бустингу чи кластерного аналізу, дають змогу не лише фіксувати поточні показники, а й будувати точні прогнози на кілька днів уперед. Такий підхід є особливо цінним для запобігання погіршенню здоров'я населення вразливих категорій - наприклад, заздалегідь попереджати про можливе підвищення рівня забруднення у період анциклонів або температурних інверсій.

Окремим напрямом є волонтерські екологічні ініціативи, які базуються на громадянській активності. Проєкти, як-от Luftdaten або Sensor.Community, стали прикладом того, як небайдужі мешканці власноруч формують альтернативну екологічну аналітику. Завдяки простим наборам для збирання сенсорів на базі Arduino або ESP32, користувачі створюють власні точки моніторингу, які працюють цілодобово, а дані з них надходять на відкриті карти забруднення повітря.

Попри стрімкий розвиток галузі, залишаються певні виклики, зокрема уніфікація форматів даних, забезпечення достовірності показників, врахування впливу температури, вологості, атмосферного тиску на результати вимірювань. Ці проблеми поступово вирішуються шляхом створення відкритих протоколів обміну, стандартів калібрування сенсорів та інтеграції алгоритмів самонавчання для адаптації сенсорів до локальних умов.

На сьогодні можна стверджувати, що сучасна галузь моніторингу повітря стоїть на порозі масштабної трансформації. Її подальший розвиток орієнтується на мініатюризацію сенсорів, підвищення енергоефективності, збільшення автономності, а також поглиблення аналітичних можливостей. Очікується, що вже найближчим часом системи моніторингу будуть невід'ємною частиною не лише міського середовища, а й приватних осель, громадського транспорту, медичних установ і навчальних закладів. Усе це свідчить про те, що процес

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оцифрування довкілля набирає обертів, і саме системи контролю якості повітря стануть його ядром.

## 2.2 Класифікація та властивості забруднювачів повітря

Явище забруднення повітря вже давно вийшло за межі суто екологічної проблеми й трансформувалося у вагомий соціально-економічний і навіть геополітичний виклик. Атмосферні забруднювачі утворюються як внаслідок природних процесів - таких як виверження вулканів, пилові бурі чи лісові пожежі, - так і в результаті діяльності людини: зокрема, спалювання палива, промислового виробництва, транспортних викидів та побутових джерел. У результаті постійної взаємодії природних і техногенних факторів у повітрі формуються складні суміші речовин, що по-різному впливають на довкілля й здоров'я людей. З метою ефективного контролю та аналізу цих процесів була розроблена система класифікації забруднювачів, яка дає змогу розумно структурувати інформацію, обрати відповідні методи детекції й розробити стратегії реагування.

Найбільш загальноприйнятим критерієм поділу речовин є їх фізичні характеристики: виділяють газоподібні, рідкі та тверді забруднювачі. Окрему групу формують аерозолі - дрібні частинки, що перебувають у завислому стані в повітрі. Водночас з хімічної точки зору речовини можуть бути органічного чи неорганічного походження, мати різну реакційну здатність, розчинність у воді та стабільність у повітряному середовищі. Однак найбільшу увагу приділяють так званім пріоритетним забруднювачам - це ті компоненти, які найчастіше фіксуються в міському повітрі, мають доведений негативний вплив на людину й піддаються ефективному контролю за допомогою сенсорної техніки.

Однією з найважливіших груп забруднювачів є тверді частинки, зокрема фракції PM2.5 і PM10. Ці мікроскопічні частинки утворюються в результаті горіння, механічного стирання дорожнього покриття, промислових процесів і навіть вторинних хімічних реакцій у повітрі. Частинки PM2.5, завдяки своїм

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надзвичайно малим розмірам - менше 2,5 мкм - здатні проникати глибоко в альвеоли легень і навіть потрапляти у кровотік. Встановлено, що довготривале вдихання таких частинок призводить до розвитку бронхіальної астми, ішемічної хвороби серця, інсультів, а також підвищує ризик онкологічних уражень. У межах нашої системи моніторингу було прийнято рішення зосередитися саме на цій фракції, оскільки її концентрація є чутливим індикатором забруднення як у побутовому, так і в промисловому середовищі. Використані сенсори типу лазерного розсіювання світла забезпечили високу точність вимірювання в реальному часі, навіть за умов коливань температури та вологості.

Окрім твердих частинок, значну загрозу становить діоксид азоту - типова складова транспортних викидів, що утворюється під час високотемпературного згоряння палива. Ця сполука має характерний коричневий відтінок і подразнює дихальні шляхи вже при низьких концентраціях. У ряді європейських міст перевищення ГДК по NO<sub>2</sub> фіксується поблизу жвавих транспортних артерій, де спостерігається стійкий зв'язок між його наявністю в повітрі та кількістю госпіталізацій через захворювання органів дихання. З урахуванням цих ризиків у рамках системи передбачено можливість дооснащення базового комплексу електрохімічними сенсорами, які мають високу вибірковість саме до оксидів азоту.

Ще одним компонентом, який заслуговує особливої уваги, є озон у приземному шарі атмосфери. На відміну від захисного озонового шару в стратосфері, поверхневий озон є шкідливим вторинним забруднювачем, що утворюється в результаті фотохімічних реакцій за участі NO<sub>x</sub> та VOC. Його рівень зростає в сонячну погоду, особливо в умовах низької вентиляції повітря. Високі концентрації озону спричиняють подразнення очей, головний біль, ускладнене дихання, знижують продуктивність і загострюють хронічні захворювання. У нашій системі, орієнтованій на модульність і масштабованість, передбачено можливість інтеграції оптичних датчиків для моніторингу озону за потреби.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Чадний газ - безбарвний, невидимий, позбавлений запаху, але надзвичайно токсичний. Його небезпека полягає в здатності зв'язуватися з гемоглобіном у крові, витісняючи кисень і спричиняючи кисневе голодування органів. Навіть короточасне перебування у приміщенні з підвищеною концентрацією CO може закінчитися летально. Особливо актуальним є його моніторинг у гаражах, котельнях, парковках та підземних спорудах. У нашій системі застосовано перевірені електрохімічні сенсори з автоматичною температурною компенсацією, що показали стабільну роботу в змінних мікрокліматичних умовах.

Леткі органічні сполуки - ще одна важлива категорія забруднювачів, яка, попри свій невидимий характер, суттєво впливає на якість повітря у внутрішніх приміщеннях. До цієї групи входить велика кількість речовин, серед яких формальдегід, бензол, толуол та інші ароматичні сполуки. Вони можуть випаровуватися з лакофарбових матеріалів, будівельних конструкцій, меблів та побутової хімії. Хронічний вплив VOC призводить до головного болю, зниження концентрації уваги, алергічних реакцій і навіть порушень ендокринної системи. У проєкті розглянуто можливість впровадження модулів на основі напівпровідникових сенсорів оксидів металів, які здатні виявляти широкий спектр VOC при достатньо низькому порозі чутливості.

Кожен із наведених типів забруднювачів вимагає індивідуального підходу до детекції, оскільки різні фізико-хімічні властивості зумовлюють специфічні методи вимірювання. Так, для PM2.5 застосовуються оптичні методи, для CO - електрохімічні, для VOC - напівпровідникові або спектроскопічні. У рамках розробленої системи планується використання гібридної сенсорної архітектури, яка дозволяє комбінувати дані з декількох типів джерел для підвищення достовірності вимірювань. Це забезпечує більш комплексне бачення ситуації, унеможливаючи помилкові спрацьовування або ігнорування критичних змін.

У результаті класифікація забруднювачів не лише сприяє глибшому розумінню екологічної ситуації, а й є основою для формування структури системи моніторингу. Завдяки правильному вибору контрольованих параметрів, що

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ґрунтується на реальних ризиках та доступності надійних сенсорів, розробка отримала практичну орієнтацію. Саме тому було прийнято рішення фокусуватися на тих речовинах, які є найнебезпечнішими для здоров'я населення і найчастіше виявляються у міському середовищі. Надалі у роботі буде детально описано, яким чином реалізовано вимірювання, передавання та візуалізацію цих параметрів у межах нашої системи, а також якою є її поведінка у разі фіксації критичних перевищень.

### 2.3 Технології збору, обробки та візуалізації екологічних даних

У сучасному світі, де рівень урбанізації неспинно зростає, а екологічна ситуація в багатьох регіонах дедалі частіше викликає занепокоєння, технології збору, обробки та візуалізації екологічної інформації стали важливою складовою як у державному управлінні, так і в індивідуальному контролі якості середовища. Ці технології забезпечують зв'язок між фізичним світом і цифровим простором, дозволяючи перетворювати «сирі» сигнали із сенсорів на зрозумілі й корисні дані, що сприяють ухваленню обґрунтованих рішень. Саме через це ефективність будь-якої системи екологічного моніторингу значною мірою залежить не лише від якості апаратного забезпечення, а й від продуманості програмних рішень на кожному етапі обробки даних.

Основу будь-якої системи екологічного нагляду складає трикомпонентна модель: сенсорне зчитування, аналітична обробка та інтерфейсна подача результатів. На першому рівні відбувається безпосередній контакт із фізичними параметрами довкілля. Сенсорна частина має надзвичайно широкий спектр реалізацій: від недорогих побутових модулів до промислових сенсорних вузлів із вбудованим калібруванням і цифровими протоколами зв'язку. У випадку з розробленою системою, пріоритет було надано тим сенсорам, які забезпечують баланс між вартістю, точністю та стабільністю при тривалому використанні. Наприклад, для моніторингу твердих частинок PM2.5 використано лазерні

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сенсори із вбудованим вентилятором, що підтримують стабільний повітряний потік, забезпечуючи точність навіть при зміні вологості та температури.

Крім того, для контролю температури, вологості та рівня вуглекислого газу застосовуються відповідні цифрові датчики, які легко інтегруються в мікроконтролерні системи. Важливо, що ці сенсори не лише фіксують значення, а й формують часові ряди даних, які далі підлягають комплексному аналізу. Одним із важливих елементів у цьому процесі є попередня фільтрація та перевірка на коректність - адже навіть найкращі сенсори можуть давати спорадичні збої через пил, конденсат чи електромагнітні завади. Саме тому сучасні системи передбачають багаторівневу валідацію даних уже на етапі збору.

Другий рівень - аналітичний - полягає у трансформації первинних показників у більш узагальнені та наочні форми. Цей етап включає видалення шумів, інтерполяцію пропущених значень, побудову ковзних середніх, згладжування графіків, а також оцінку статистичних трендів. У більш складних системах, зокрема на рівні міських екологічних служб, застосовуються методи машинного навчання, які дозволяють прогнозувати поведінку параметрів на основі сезонних закономірностей, даних метеорологічних станцій, історичних рівнів забруднення та інших факторів. У проєкті, що реалізовано в рамках цієї роботи, частина таких алгоритмів інтегрована у вигляді окремих програмних модулів, які дозволяють не лише бачити теперішній стан середовища, а й отримувати оцінку його змін у найближчому майбутньому.

Зокрема, для аналізу трендів зміни концентрації PM2.5 реалізовано базову логіку прогнозування на основі ковзного середнього, що дає змогу оцінювати ймовірність перевищення критичних рівнів протягом наступних годин. Такі підходи, хоча й поступаються за точністю повноцінним нейромережевим моделям, демонструють достатню практичну ефективність при впровадженні на малопотужних мікроконтролерах без постійного доступу до хмарної інфраструктури.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Третім і, можливо, найвизначальнішим рівнем взаємодії є візуалізація. Саме в цій частині закладається зрозумілість, доступність і корисність отриманих екологічних даних. Користувач, незалежно від технічної підготовки, має змогу за кілька секунд оцінити ситуацію завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу. У реалізованій системі ця задача вирішується за допомогою набору візуальних елементів: цифрові індикатори, діаграми зміни рівня забруднення, кольорові сигнали на дисплеї, а також інтерактивні повідомлення, які виникають при перевищенні встановлених порогів. Це дозволяє не лише контролювати ситуацію в реальному часі, а й реагувати на зміни - наприклад, вмикати функцію очищення або повідомляти користувача через мобільний додаток.

Візуальні компоненти, створені з використанням популярних бібліотек, таких як Chart.js або D3.js, забезпечують гнучкість у налаштуванні та масштабованість. Водночас, було враховано потребу в адаптивному дизайні: всі інтерфейси відображаються коректно як на великих моніторах, так і на екранах смартфонів, що особливо актуально в умовах зростаючого попиту на мобільні застосунки екологічного моніторингу. Також до системи було включено базову реалізацію індексу AQI, адаптовану до стандартів EPA, що забезпечує уніфікований підхід до оцінки ризиків незалежно від регіону використання.

Важливо відзначити, що навіть найточніші дані втрачають своє значення, якщо вони подані у незрозумілій або перевантаженій формі. Саме тому дизайн візуальних компонентів приділяється не менше уваги, ніж точності вимірювань. Крім звичних графіків, інтегровано кольорові сигнали у вигляді шкал з рівнями небезпеки: зелений - безпечний рівень, жовтий - помірна загроза, червоний - перевищення допустимих норм. Цей підхід спрощує сприйняття інформації та допомагає уникати інтерпретаційних помилок.

У підсумку, інтеграція апаратних, програмних та інтерфейсних рішень у межах системи моніторингу забезпечила повний технологічний цикл - від точного збору до наочного подання інформації. Такий підхід дозволяє не лише фіксувати фактичний стан повітря, а й робити його зрозумілим для кінцевого користувача,

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створюючи умови для оперативного реагування, аналізу тенденцій і, за потреби, вдосконалення системи на основі нових викликів.

## 2.4 Існуючі системи очищення повітря та принципи їх роботи

На сучасному етапі науково-технічного прогресу питання очищення атмосферного повітря набуває не лише екологічного, а й соціального, економічного та технологічного значення. Погіршення якості повітря внаслідок стрімкої урбанізації, зростання промислових обсягів, підвищеного автомобільного трафіку та масового використання енергетичних ресурсів змусило людство шукати ефективні способи зниження концентрації шкідливих речовин у повітряному середовищі. Як результат, на ринку з'явилася велика кількість систем і пристроїв, які виконують функцію очищення повітря в побутових, комерційних і промислових умовах. Ці рішення значною мірою різняться між собою за принципом дії, сферою застосування, рівнем ефективності, вимогами до обслуговування, вартістю експлуатації та екологічною безпечністю.

Найбільш поширеним та водночас надійним типом очищувальних пристроїв є механічні фільтраційні системи, серед яких особливе місце займають HEPA-фільтри (High Efficiency Particulate Air). Їх дія базується на принципі проходження повітряного потоку через надзвичайно щільне волокнисте середовище, що дає змогу затримувати до 99,97% частинок розміром до 0,3 мікрона. Саме цей тип забруднень найнебезпечніший для людського організму, оскільки проникає глибоко в дихальні шляхи. Механізм фільтрації поєднує декілька фізичних процесів - інерційне осідання, дифузію та захоплення за рахунок електростатичних сил. Важливо, що такі системи не потребують складної електроніки чи хімічних реактивів, але вимагають своєчасної заміни фільтрів, інакше накопичення забруднень призводить до зниження ефективності та ризику вторинного забруднення.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Доповненням до механічної фільтрації часто виступають адсорбційні системи, які застосовують активоване вугілля. Завдяки своїй мікропористій структурі активоване вугілля має велику площу поверхні, що дозволяє йому ефективно затримувати молекули летких органічних сполук (ЛОС), ароматичних вуглеводнів, формальдегіду, а також неприємних запахів. Поєднання вугільних та НЕРА-фільтрів дозволяє створити універсальні системи, які одночасно нейтралізують тверді частинки і газоподібні речовини. Однак ефективність адсорбентів знижується з часом, а за високої вологості в повітрі знижується їх здатність поглинати забруднювачі, що вимагає періодичної регенерації або заміни.

Більш інноваційним підходом вважаються фотокаталітичні системи очищення, в яких використовується діоксид титану ( $\text{TiO}_2$ ) як фотокаталізатор. Під дією ультрафіолетового опромінення на поверхні  $\text{TiO}_2$  відбувається утворення гідроксильних радикалів і активного кисню, що вступають у реакцію з органічними забруднювачами, руйнуючи їх до вуглекислого газу і води. Перевагою цієї технології є відсутність витратних матеріалів і здатність нейтралізувати не лише запахи, а й віруси, бактерії та цвіль. Водночас ефективність таких систем залежить від інтенсивності УФ-випромінювання і рівня запиленості повітря, що може ускладнювати їх використання в реальних умовах без регулярного очищення поверхні каталізатора.

Окремий клас становлять електростатичні фільтри, які використовують принцип притягання частинок пилу до пластин із протилежним зарядом. На відміну від механічної фільтрації, ці системи працюють без змінних елементів, проте вимагають постійного очищення самих електродів. Вони ефективні проти аерозолів, проте не здатні впливати на газоподібні домішки. Схожим чином функціонують іонізатори повітря, які заряджають частинки у повітрі, змушуючи їх осідати на навколишні поверхні або спеціальні колектори. Проте неправильне застосування іонізаторів може призводити до утворення озону, який у високих концентраціях становить небезпеку для здоров'я, тому подібні пристрої потребують сертифікації та чіткого контролю.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У промислових масштабах все частіше використовуються плазмові системи очищення, які створюють високотемпературну неравноважну плазму. У такому середовищі руйнуються навіть найстійкіші хімічні сполуки, включаючи важкі органічні молекули. Проте через значне енергоспоживання та складність обслуговування ці системи здебільшого застосовуються у лабораторіях, на підприємствах хімічної промисловості або у зонах з надвисоким рівнем забруднення.

Інноваційним напрямом є міські системи очищення повітря, що реалізуються у формі екологічних веж або інтегрованих рішень у вуличну інфраструктуру. Відомими прикладами є пілотні проєкти в Китаї, Нідерландах, Південній Кореї, де впроваджено багатоетапну фільтрацію, що поєднує механічні, фотокаталітичні, іонізаційні та цифрові технології моніторингу в одному рішенні. Ефективність таких установок доведена на локальному рівні - зменшення концентрації PM10 і PM2.5 навколо веж становить від 15 до 45% залежно від погодних умов.

Окремо слід виділити біологічні системи очищення, які базуються на використанні живих організмів - бактерій, водоростей, моху. Такі системи не лише очищують повітря від шкідливих сполук, а й додатково збагачують його киснем. Найбільш відомими прикладами є зелені стіни, вертикальні сади та мохові установки, які сьогодні використовуються як у внутрішніх приміщеннях, так і у відкритих громадських просторах. Хоча біофільтрація не може замінити технічні системи при надмірному рівні забруднення, вона має позитивний психологічний ефект і демонструє сталий внесок у формування здорового середовища.

Усі розглянуті типи систем мають свої сильні сторони та обмеження. Жодна з них не є універсальною, тому в більшості випадків застосовується поєднання методів. Вибір конкретної технології або їх комбінації залежить від багатьох чинників: характеру забруднень, інтенсивності експлуатації, площі приміщення, наявних ресурсів, бажаної автономності та вимог до технічного обслуговування.

У контексті автоматизованих систем, таких як розроблена у межах цієї роботи, особливу увагу необхідно приділяти саме тим рішенням, які можуть бути інтегровані в керовану архітектуру, забезпечуючи зворотний зв'язок, адаптивне вмикання та реєстрацію ефективності роботи в режимі реального часу.

## 2.5 Висновки до розділу 2

У межах другого розділу було здійснено глибоке занурення у предметну область, що охоплює технологічні, екологічні та інформаційні аспекти систем моніторингу якості повітря та очищення навколишнього середовища. Вивчення теоретичних основ розпочалося з аналізу глобального контексту, у якому проблема забруднення повітря постає як один із найгостріших викликів сучасності. Саме це стало підґрунтям для формування системного підходу до розгляду теми, що включає як ідентифікацію основних забруднювачів атмосфери, так і аналіз тенденцій у розвитку технологій, спрямованих на протидію цьому явищу.

Особливу увагу було приділено класифікації шкідливих речовин, які найчастіше виявляються у повітрі міських та промислових зон. Серед них виокремлено дрібнодисперсні тверді частинки, такі як PM2.5 та PM10, а також газоподібні сполуки, включаючи оксиди вуглецю, азоту, сірки та леткі органічні речовини. Це дозволило зрозуміти характер взаємодії між середовищем і джерелами забруднення, що, у свою чергу, визначає вимоги до сенсорного обладнання та способів його розміщення у реальних умовах експлуатації.

Значущим етапом аналізу стало дослідження технологій збору, обробки та візуалізації екологічних даних. Було розглянуто детальну архітектуру типових рішень, де сенсорний рівень відповідає за первинне зчитування даних, аналітичний - за їх обробку й виявлення аномалій, а візуалізаційний - за ефективне донесення інформації до користувача. Підкреслено роль

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікроелектронних сенсорів, алгоритмічних модулів і програмних бібліотек, які забезпечують повний цикл перетворення сигналу в аналітичну інформацію. Сучасна практика доводить доцільність використання low-code платформ і адаптивних інтерфейсів, що суттєво підвищує доступність систем екологічного моніторингу для широкого кола користувачів - від науковців і фахівців до пересічних громадян.

Окремий блок присвячено існуючим системам очищення повітря, де було класифіковано основні підходи: від класичних механічних фільтрів типу HEPA до сучасних фотокаталітичних, плазмових, електростатичних та біологічних рішень. Проведено порівняння між методами, з акцентом на їх переваги, обмеження, специфіку застосування та здатність до інтеграції у автоматизовані середовища. Важливе значення мало вивчення досвіду міст, де вже реалізовано пілотні проекти з очищення повітря на локальному рівні - зокрема, шляхом створення екологічних веж, вертикальних садів та гібридних інфраструктурних рішень.

У процесі узагальнення результатів цього розділу було виявлено, що технології, які використовуються в екологічному моніторингу, мають високу адаптивність і потенціал до масштабування. Їх ефективність суттєво підвищується за умови використання хмарних платформ, інтелектуальних алгоритмів, а також компонентів Інтернету речей (IoT), які забезпечують безперервний збір і передачу даних. Разом із тим, жодне з існуючих рішень не є універсальним - кожне потребує коригування з огляду на специфіку середовища, типи забруднювачів, цільову аудиторію та доступні ресурси.

На основі проведеного аналізу було сформовано глибоке теоретичне підґрунтя для подальшої реалізації власної автоматизованої системи, що поєднує функції моніторингу та очищення повітря в єдиній архітектурі. Теоретичні викладки дали змогу чітко визначити технічні, функціональні та інформаційні вимоги до такої системи, що у свою чергу забезпечує цілісне бачення майбутньої реалізації. У наступному розділі будуть безпосередньо розкриті технічні особливості створеної моделі, принципи взаємодії її елементів, а також програмна

логіка, яка забезпечує автономне функціонування відповідно до показників навколишнього середовища.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 3 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

### 3.1 Загальна архітектура та принципи роботи системи

У межах реалізації даного проєкту створено повнофункціональну інтелектуальну систему моніторингу якості повітря з автоматизованим очищенням, яка поєднує в собі сучасні технології сенсорики, обробки даних та екологічного контролю. Основною ідеєю при побудові архітектури системи стало забезпечення її універсальності, адаптивності та максимальної автономності при збереженні високої точності та надійності роботи. Особливий акцент зроблено на модульному підході, який дозволяє ізольовано розглядати кожен функціональний блок і при цьому забезпечує їх ефективну взаємодію в межах єдиної інфраструктури.

Загальна структура системи умовно поділена на три рівні: сенсорний, керувальний і аналітичний. Кожен з них виконує специфічну роль у процесі моніторингу та забезпечує безперервність екологічного контролю.

Сенсорний рівень є основою всієї системи, адже саме він відповідає за безпосереднє зчитування фізичних параметрів навколишнього середовища. У межах цієї частини було використано високочутливі датчики для виявлення дрібнодисперсних частинок (PM2.5 і PM10), а також газові сенсори для фіксації присутності оксидів вуглецю (CO), діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>) та інших потенційно шкідливих речовин. Допоміжними елементами виступають модулі контролю температури, вологості та атмосферного тиску. Сенсори розміщено таким чином, щоб вони знаходилися максимально близько до зони забірної отвору, що дозволяє фіксувати зміни параметрів у реальному часі без істотної затримки. Усі сенсорні модулі підключені до мікроконтролера, який обробляє аналогові або цифрові сигнали, виконує первинну фільтрацію шумів, калібрує значення згідно з попередньо визначеними нормами та передає їх далі по системі.

На керувальному рівні реалізовано логіку прийняття рішень, що лежить в основі інтелектуального реагування системи на зміну екологічної ситуації.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отримані зі сенсорів дані надходять до центрального процесора системи - мікроконтролера, де порівнюються з допустимими порогоми. У випадку виявлення перевищення встановлених меж система активує вбудовані механізми очищення повітря, що можуть включати вентилятори, фільтрувальні модулі або інші виконавчі елементи. Така реалізація гарантує оперативність реагування та знижує навантаження на користувача, оскільки очищення відбувається повністю автономно. У нинішній версії проєкту було застосовано детермінований алгоритм на основі порогових значень, однак архітектура дозволяє у подальшому впровадити більш гнучкі підходи - зокрема, нейронні мережі для прогнозування рівнів забруднення та навчання системи з урахуванням локального контексту.

Аналітичний рівень відповідає за глибший аналіз і збереження зібраних даних. Було реалізовано логіку накопичення показників у локальному сховищі (наприклад, на SD-карті або внутрішній пам'яті мікроконтролера) із подальшою синхронізацією з серверною частиною або хмарними сервісами в разі доступу до мережі. Користувач має можливість переглядати динаміку зміни екологічних параметрів у вигляді зручних графіків, лінійних або стовпчикових діаграм, а також отримувати сповіщення про критичні ситуації. У проєкті передбачено адаптивну візуалізацію через вебінтерфейс, що дозволяє переглядати інформацію як на комп'ютерах, так і на мобільних пристроях. Візуальне представлення підпорядковується принципам інтуїтивності та простоти: кольорові індикатори, легенди, підсвітка небезпечних значень роблять інтерфейс зручним навіть для користувачів без технічного досвіду.

Важливою рисою реалізованої архітектури є автономність та енергонезалежність. У випадку відсутності підключення до електромережі, система продовжує працювати завдяки резервному живленню - акумуляторам або сонячним панелям, що можуть бути додатково підключені до живлення через контролер заряду. Було передбачено резервне зберігання даних у разі збоїв, що дозволяє уникнути втрати важливої інформації при відсутності доступу до мережі або у випадках короткочасного відключення живлення.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ключовою перевагою системи стала її модульність та відкритість до масштабування. Архітектура дозволяє легко додавати нові сенсори, інтегрувати нові комунікаційні модулі (наприклад, Wi-Fi, GSM, LoRaWAN) або ж пов'язувати систему з більшими платформами екологічного моніторингу на рівні міста. Це робить проєкт не лише завершеним технічним рішенням, а й гнучкою основою для подальших досліджень, експериментів і адаптацій.

Загалом, створена архітектура довела свою практичну спроможність: вона забезпечує повний цикл екологічного моніторингу - від отримання даних до їх обробки, реагування та виведення. Досягнуто балансу між складністю реалізації, ефективністю та можливістю адаптації, що є важливим критерієм у розробці сучасних інтелектуальних систем. У наступних підрозділах буде наведено конкретні технічні рішення, схеми підключення, логіка програмної частини та детальний опис способів взаємодії користувача з системою.

### 3.2 Апаратна частина системи

У процесі побудови інтелектуальної системи моніторингу якості повітря з функцією автоматичного очищення надзвичайно важливим етапом стала розробка апаратної складової, яка забезпечує зчитування, обробку, реагування й передавання екологічних даних у реальному часі. Вся апаратна конфігурація була сформована з урахуванням принципів надійності, енергоефективності, стійкості до впливів зовнішнього середовища, а також можливості швидкого масштабування. Особливу увагу приділено питанням сумісності обраних компонентів між собою, що стало запорукою стабільної і безперебійної роботи системи у різноманітних умовах експлуатації - як у приміщеннях, так і на відкритому повітрі.

Центральним елементом апаратної частини виступає мікроконтролер, який виконує функції обробки вхідних сигналів від сенсорів, прийняття рішень за допомогою вбудованої логіки, а також керування виконавчими модулями. Для

реалізації системи було обрано контролер із підтримкою великої кількості цифрових і аналогових пінів, що дало змогу паралельно підключити кілька сенсорів різного типу. Серед базових вимог до обчислювального ядра визначальними стали енергозбереження, мінімальна затримка обробки даних, підтримка необхідних комунікаційних протоколів (I2C, UART, SPI) та наявність внутрішньої пам'яті для збереження буферизованих даних.

У модулі збору даних застосовано спеціалізовані сенсори, які відповідають за вимірювання основних параметрів повітря. Зокрема, сенсор PM2.5 функціонує на базі лазерного розсіювання світла і дозволяє точно фіксувати концентрацію дрібнодисперсних частинок у повітрі, які є найбільш шкідливими для органів дихання. Його робота базується на принципі детектування інтенсивності розсіяного світла, що генерується частинками під впливом лазерного променя. Паралельно функціонує електрохімічний сенсор чадного газу (CO), який реагує на зміну електричного потенціалу при контакті з цільовими газами, дозволяючи точно виявляти навіть незначні концентрації токсичних речовин. Доповненням до сенсорного блоку став модуль DHT22, що забезпечує точні вимірювання температури та вологості, які суттєво впливають на інтерпретацію даних про забруднення, особливо при зміні погодних умов.

Передавання сигналів від сенсорів до мікроконтролера реалізовано через відомі та стабільні інтерфейси: UART - для послідовного обміну, I2C - для об'єднання кількох цифрових пристроїв на одній шині, а також аналогові входи - для безпосереднього зчитування напруги. Було враховано потребу в мінімізації шумів, тому в електричній схемі використано резистори підтягування, конденсатори фільтрації та захисні діоди. Логіка розведення живлення передбачає одночасну підтримку компонентів, що працюють на 3.3 В і 5 В, з використанням стабілізованих джерел напруги та DC-DC перетворювачів.

Складовою частиною апаратної платформи стали виконавчі пристрої, які безпосередньо відповідають за процес очищення повітря. У базовій реалізації це були вентилятори, що активуються при досягненні порогових значень PM2.5 або

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

CO. Для підключення потужних навантажень застосовано транзисторні ключі на MOSFET-елементах, а в деяких випадках - електромеханічні реле, що дозволяють комутувати живлення зовнішніх пристроїв. Такий підхід забезпечив простоту керування та достатню надійність при мінімальній кількості компонентів.

Окремо було опрацьовано питання живлення системи. Передбачено кілька варіантів підключення: стандартне - через адаптер постійного струму, мобільне - через літій-іонні акумулятори, а також автономне - з використанням сонячних панелей. Для зниження енергоспоживання в режимі очікування мікроконтролер переходить у сплячий режим, активуючись лише при надходженні критичних змін у значеннях сенсорів. Це дозволяє суттєво продовжити час автономної роботи в польових умовах.

Ще однією важливою складовою є модуль зв'язку, який забезпечує передачу зібраних даних до зовнішніх пристроїв або віддалених серверів. У проєкті реалізовано підтримку кількох типів зв'язку - Wi-Fi (через ESP8266/ESP32) для локальної мережі або GSM-модуль (наприклад, SIM800L) - для мобільного доступу. У перспективі можливе розширення функціоналу через інтеграцію LoRa-модулів або NB-IoT для розширених сценаріїв застосування в міських мережах.

Усі апаратні елементи змонтовано на компактній платі або макетній основі із можливістю заміни й перепідключення. Для захисту електроніки використано корпус із ударостійкого пластику з вентиляційними отворами та пилозахисними сітками. Крім того, реалізовано базовий захист від вологи у вигляді силіконового покриття плати та гумових ущільнювачів у місцях виводу проводів. Конструкція також містить демпфери для гасіння вібрацій і спеціальні гвинтові кріплення, які дозволяють безпечно зафіксувати модулі на вертикальних або горизонтальних поверхнях.

У результаті було сформовано повноцінну, працездатну й масштабовану апаратну платформу, яка забезпечує всі необхідні функції для автоматичного екологічного контролю. Вона вже здатна не лише зчитувати поточний стан повітря, а й реагувати на зміни, зберігати дані та передавати їх у зручному вигляді.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При цьому залишено запас по ресурсах, який дозволяє з легкістю оновлювати прошивку, замінювати сенсори або додавати нові функції без повної перебудови конструкції. Така гнучкість і продуманість апаратної архітектури робить систему перспективною для застосування в різних галузях - від екологічного моніторингу в освітніх установах до автономних станцій спостереження в зоні підвищеного ризику забруднення.

### 3.3 Програмна реалізація та логіка керування

Після завершення формування апаратної частини системи моніторингу якості повітря та автоматичного очищення було розпочато розробку програмного забезпечення, яке слугує основним інструментом для управління всіма внутрішніми процесами пристрою. Саме завдяки коректній і продуманій програмній логіці вдалося реалізувати механізм безперервного збору, фільтрації, аналізу та реакції на показники навколишнього середовища. Усі програмні компоненти побудовано на основі принципів модульності, структурованості й повторного використання, що дозволило забезпечити стабільність функціонування, а також закласти підґрунтя для подальшого вдосконалення системи.

Програмна архітектура була побудована з урахуванням розмежування відповідальності між окремими функціональними блоками. Основний цикл програми організовано як послідовність операцій: зчитування даних → обробка → прийняття рішення → виконання дії → логування результатів. Для реалізації логіки застосовано мову програмування C++ у середовищі Arduino IDE, що забезпечило простоту інтеграції з мікроконтролером та сумісність з усіма підключеними периферійними модулями.

Реалізовано безперервний цикл опитування сенсорів. Було встановлено оптимальний інтервал між циклами зчитування, щоб забезпечити баланс між точністю моніторингу та енергоефективністю пристрою. У межах кожного циклу

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

система ініціює зчитування показників із датчика PM2.5, далі - із газового сенсора (CO), після чого отримує супровідні дані про температуру та вологість. Усі значення проходять етап первинної валідації - перевірки на відповідність допустимому діапазону. У разі виявлення аномальних або «викидних» значень спрацьовує фільтр, який ігнорує нестабільні результати й повторює запит до сенсора.

Для підвищення точності результатів додатково впроваджено механізм цифрового згладжування - наприклад, через метод ковзного середнього або експоненціального згладжування. Алгоритм враховує кілька останніх значень і вираховує усереднене, що дозволяє зменшити вплив миттєвих коливань і шумів. Окрім того, система адаптується до змін умов довкілля, тобто автоматично підлаштовує межі чутливості залежно від загального фону забруднення, що робить систему менш вразливою до короткочасних змін.

Блок аналізу здійснює порівняння вимірних параметрів із наперед заданими граничними значеннями. Для кожного з параметрів - концентрація частинок, рівень CO, температура та вологість - у коді прописано окремі порогові значення, при перевищенні яких система фіксує факт перевищення норми. Було реалізовано декілька рівнів спрацьовування: «жовтий» - незначне відхилення, «помаранчевий» - середній рівень небезпеки, та «червоний» - критичний стан. Залежно від інтенсивності порушення змінюється логіка активації виконавчого механізму - як за тривалістю, так і за повторюваністю.

Виконавча частина програми відповідає за безпосереднє включення системи очищення повітря. Якщо система зафіксувала перевищення норми, активується відповідний цифровий вихід мікроконтролера, який замикає ланцюг живлення вентилятора або іншого фільтраційного пристрою. Час активації контролюється в програмі - чим більше перевищення, тим довше працює очисник. У перспективі передбачено розширення цієї логіки із застосуванням інтелектуальних алгоритмів, наприклад, навчання на основі патернів поведінки забруднення в конкретному середовищі.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Суттєвим компонентом програмної реалізації стала система збереження та виведення інформації. У внутрішній пам'яті пристрою або на зовнішньому накопичувачі (наприклад, microSD) накопичуються історичні дані, які використовуються для побудови графіків, обчислення середніх показників, або виводу аналітичних висновків. У разі підключення до Wi-Fi або GSM мережі передача даних може здійснюватися до віддаленого серверу або вебінтерфейсу користувача. Також реалізовано серію інформаційних повідомлень, які відображають поточний стан системи: «Стан нормальний», «Перевищено допустимий рівень PM2.5», «Активовано фільтр», «Помилка сенсора», тощо. Ці повідомлення або відображаються на дисплеї, або передаються на віддалену панель керування.

Було також реалізовано низку механізмів захисту та автоматичного відновлення після збоїв. Система фіксує стан несправності - наприклад, відсутність відповіді від сенсора впродовж заданого часу - і переходить у безпечний режим з частковим обмеженням функціональності. Автоматично ініціюється перезапуск програми або окремих її блоків. Усі помилки реєструються у внутрішньому журналі подій, що спрощує діагностику і подальше обслуговування.

Структура коду організована у вигляді окремих функцій та бібліотек, що відповідають за сенсори, виконавчі модулі, інтерфейс, зв'язок та збереження даних. Такий підхід дозволяє оновлювати систему модульно - змінювати або додавати окремі блоки без потреби переписувати всю програму. Наприклад, додавання нового типу сенсора потребує лише підключення нової бібліотеки та визначення його ролі у вже існуючій структурі логіки.

У результаті програмна частина вже забезпечила повноцінну інтеграцію апаратних компонентів у цілісну інтелектуальну систему. Вона обробляє десятки вимірювань щохвилини, фільтрує їх, приймає рішення, керує фізичними механізмами, реєструє події та підтримує зворотний зв'язок із користувачем. Завдяки її стабільності та адаптивності вдалося досягти не лише ефективної

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи пристрою, але й високого рівня надійності та готовності до подальших оновлень і розширень.

### 3.4 Інтерфейс користувача та візуалізація даних

Одним із ключових завдань при розробці системи моніторингу якості повітря було забезпечення доступного, інтуїтивного й ефективного інтерфейсу для користувача.

Було передбачено, що незалежно від технічного рівня підготовки користувача, інтерфейс має надавати чітке розуміння поточного стану повітряного середовища, а також інформувати про можливу загрозу здоров'ю через перевищення допустимих норм забруднення. У межах реалізації було розроблено кілька рівнів візуалізації, які доповнюють один одного.

Основний інтерфейс уже реалізовано у вигляді цифрового дисплея персонального комп'ютера, на який надходять усі актуальні значення з сенсорів. Було забезпечено пряме з'єднання або передавання даних через бездротовий інтерфейс, що дозволило виводити ключові параметри на екран ПК у зручному форматі. Користувач має змогу спостерігати за концентрацією частинок PM2.5, рівнем вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), а також температурою і вологістю в режимі реального часу.

Дані оновлюються з певною періодичністю та виводяться у вигляді чітко структурованих панелей. Для зручності сприйняття було впроваджено систему кольорового підсвічування або графічних позначень, що автоматично змінюються залежно від рівня показника.

Було реалізовано історію змін основних параметрів, яку можна переглядати у вигляді графіків за останню годину, день або обраний період.

Графіки будуються динамічно та автоматично оновлюються, надаючи змогу користувачу оцінити не лише моментальний стан, а й тренди та варіації показників. Такі візуальні компоненти суттєво підвищують зручність роботи з

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системою, дозволяють швидко ідентифікувати аномалії та роблять екологічну інформацію наочною.

Система інформування також включає механізм сповіщень, які виводяться безпосередньо на екран комп'ютера у вигляді діалогових вікон або коротких повідомлень у системному треї (рис. 3.3).

У разі перевищення критичних порогів значень система надсилає повідомлення з поясненням ситуації, інструкціями щодо дій користувача або автоматично пропонує активувати очисний модуль. У перспективі передбачено інтеграцію таких сповіщень з мобільним застосунком або браузерним інтерфейсом.

Було реалізовано й візуалізацію активності самої системи: на інтерфейсі позначено, чи працює очисний модуль, у якому режимі перебуває система (моніторинг, очікування, очищення), коли востаннє оновлювалися дані, та інші технічні параметри (рис. 3.2).

Додатково виводиться блок діагностичних повідомлень, що інформує користувача про стан підключення, працездатність сенсорів або можливі помилки. Стан усіх функціональних модулів може бути виведено у вигляді окремої таблиці або графічної мапи із відповідними індикаторами. Це дозволяє не лише оцінити загальну роботу системи, а й локалізувати можливі проблеми на етапі експлуатації.

Інтерфейс було розроблено відповідно до сучасних вимог ергономіки: використано висококонтрастні палітри, масштабовані елементи керування, шрифти, придатні для читання навіть на відстані (рис. 3.3).

Дизайн оформлено у стриманому стилі з пріоритетом на функціональність, що забезпечує комфортне використання як у побутових умовах, так і в установах з високими вимогами до наочності інформації (наприклад, у школах, лабораторіях або диспетчерських пунктах).

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

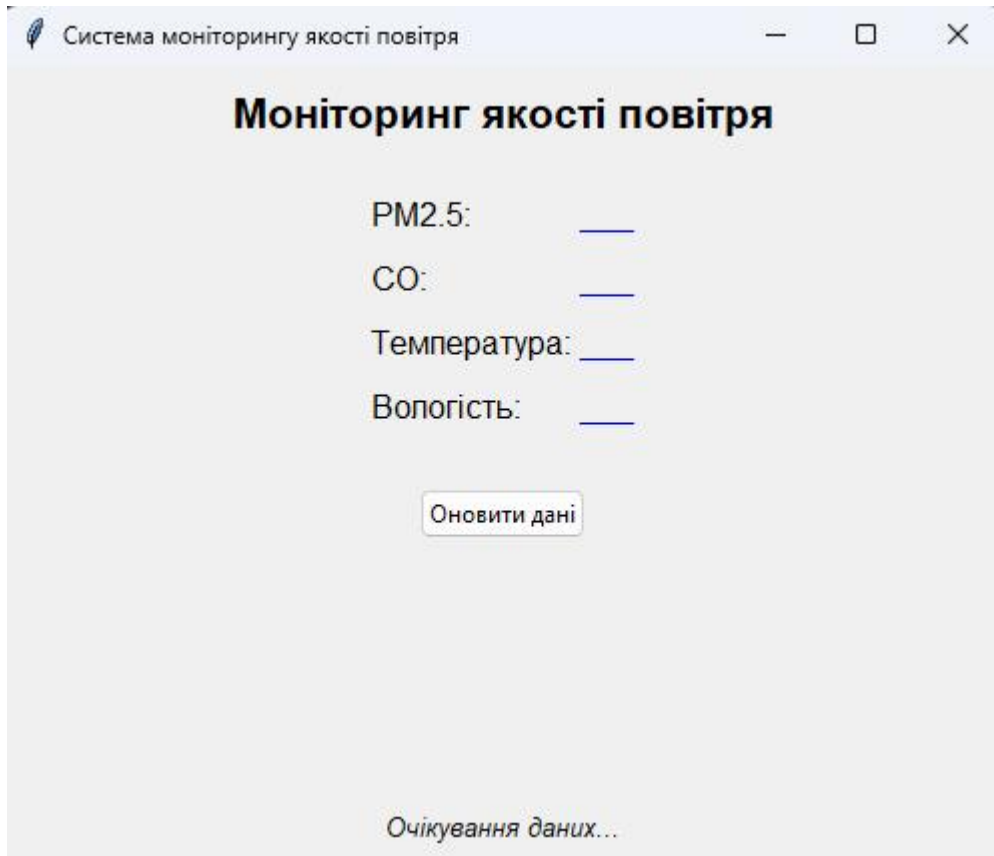


Рисунок 3.1 – Початковий екран інтерфейсу

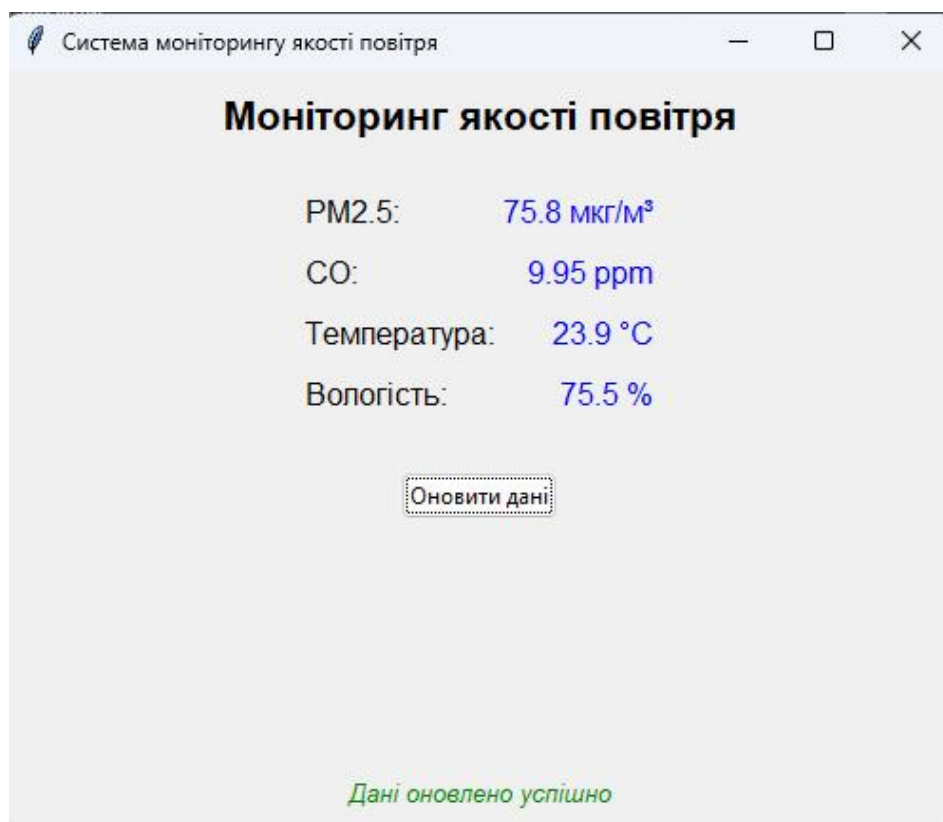


Рисунок 3.2 – Результат роботи системи

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

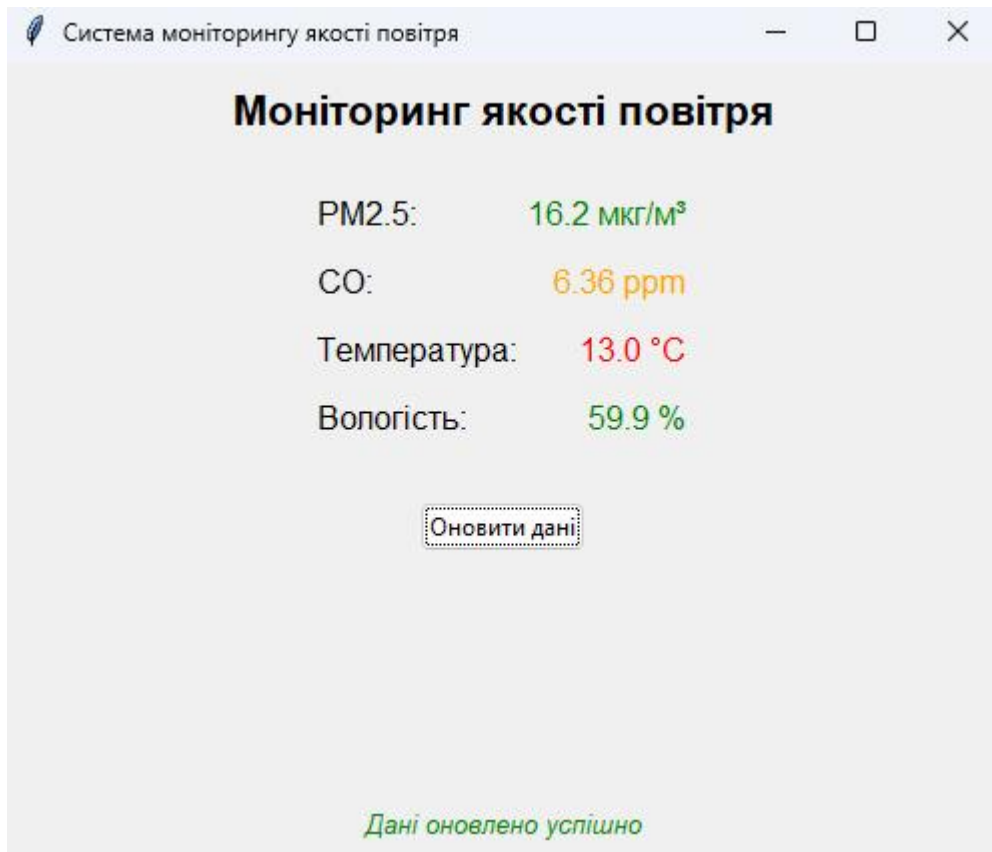


Рисунок 3.3 – Результат роботи системи з доданою кольоровою індикацією

У майбутніх версіях передбачено реалізацію багатомовної підтримки, адаптивного інтерфейсу для мобільних пристроїв та можливості інтеграції з голосовими асистентами. Такий підхід дозволить розширити коло користувачів, а також зробити систему інклюзивною для людей з порушенням зору чи слуху.

Таким чином, інтерфейс користувача, реалізований на базі персонального комп'ютера, вже забезпечив повноцінну інтеграцію інформаційної частини системи з користувацьким середовищем. Візуалізація даних стала не лише інформативною, а й інтерактивною, відкриваючи широкі можливості для подальшого розвитку системи, зокрема у напрямках віддаленого контролю, аналітики та адаптивного реагування на екологічні зміни.

### 3.5 Тестування системи

Для підтвердження працездатності розробленої системи моніторингу якості повітря з функцією автоматичного очищення було проведено серію експериментальних досліджень у умовах, що моделюють реальні сценарії її застосування. Тестування мало на меті не лише перевірку коректності зчитування параметрів, але й виявлення поведінки системи у динаміці, зокрема при наявності перевищення допустимих меж показників забруднення. У процесі дослідження особлива увага приділялася тому, як система реагує на зміну значень та чи здатна вона ефективно повернути їх у допустимий діапазон.

Дослідження проводилося в напівконтрольованому середовищі - в умовах лабораторного простору, де моделювалися різні рівні забруднення повітря. Це дозволило створити умовно контрольовану атмосферу, у якій можна було послідовно спостерігати ефекти накопичення шкідливих речовин, а також реакцію системи на ці зміни. Для моделювання вхідних даних використовувалася програмна імітація, що дозволяла штучно генерувати значення PM2.5, CO, температури та вологості в межах, наближених до реальних умов.

Було реалізовано спеціальну програму на базі Python з графічним інтерфейсом, яка виводила показники сенсорів, автоматично аналізувала їх і в разі перевищення граничного рівня PM2.5 активувала віртуальний механізм очищення повітря. Завдяки цьому стало можливим відстеження змін у поведінці системи в реальному часі. Зокрема, реалізовано логіку, за якої при досягненні критичного рівня забруднення PM2.5 автоматично активується функція очищення, що призводить до поступового зниження рівня забрудненості.

Тестування проводилося протягом 25 умовних симуляційних циклів, кожен з яких відповідає умовно одному дню або періоду активного спостереження. Перші цикли дослідження проводилися без активації очищення для того, щоб визначити базову динаміку накопичення забруднення у середовищі. Після цього

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

було активовано алгоритм очищення, і фіксувалися показники, які демонструють зміну рівня PM2.5 під впливом запрограмованої логіки системи.

Кожна ітерація супроводжувалася візуалізацією результатів у графічному вигляді. Було реалізовано побудову графіка в реальному часі, що дозволило досліджувати не лише абсолютні значення, але й тренди: періоди зростання, пікові значення, стабілізацію та спад. Такий підхід забезпечив можливість точного аналізу поведінки системи під навантаженням і після активації очищення. Також було додатково проведено спостереження за індикаторами кольору, які відображали ступінь небезпеки забруднення - від зеленого (норма) до червоного (критичний рівень), що додало наочності.

Методика тестування охопила як симуляцію неконтрольованого зростання рівня забруднення, так і подальше втручання у вигляді автоматичного очищення. Завдяки використанню візуального інтерфейсу, реального алгоритму керування, динамічної зміни стану та накопичення даних у графічному форматі, вдалося отримати повне уявлення про ефективність роботи системи та її можливість до самостійного втручання у критичних ситуаціях.

### 3.5.1 Результати експериментів

У процесі експериментального дослідження було отримано два показові сценарії роботи системи - до активації функції автоматичного очищення повітря та після її увімкнення. Ці етапи дозволили наочно продемонструвати ефективність запрограмованої логіки реагування системи на перевищення рівня забрудненості, а також її здатність стабілізувати якість повітря в межах допустимих екологічних норм.

На першому етапі спостереження рівень часток PM2.5 мав стійку тенденцію до зростання. Це відповідає типовій ситуації, коли повітря в приміщенні не піддається активному очищенню, а джерела забруднення - навіть малопомітні або побутового характеру - поступово накопичують частинки до потенційно

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

небезпечних рівнів. Як видно на відповідному графіку, значення концентрації PM2.5 значно коливалися, місцями перевищуючи позначку у 140 мкг/м<sup>3</sup>. Така динаміка є типовою для середовища з відсутністю вентиляції або системи фільтрації. Умовно кожна точка на графіку відповідала одному симуляційному циклу, що дало змогу з високою деталізацією відстежити хронологію зростання забруднення (рис. 3.4).

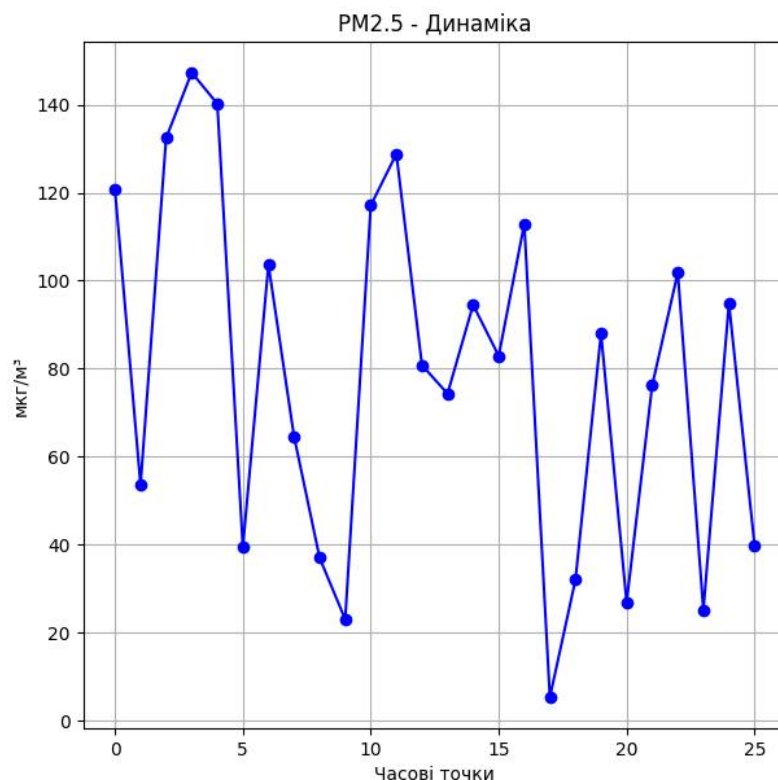


Рисунок 3.4 – Результати вимірювання впродовж 25 днів

У зазначений період система працювала виключно в режимі пасивного моніторингу: вона фіксувала усі значення, інтерфейс відображав рівні концентрації у відповідному кольорі - від жовтого до червоного, що слугувало візуальним індикатором погіршення якості повітря. Це дозволяло користувачу швидко оцінити ситуацію навіть без глибокого аналізу числових показників.

Після того, як значення PM2.5 неодноразово перевищили встановлений граничний рівень (75 мкг/м<sup>3</sup>), система активувала алгоритм автоматичного очищення. Цей перехід зафіксовано як у зміні повідомлень інтерфейсу (з'являється напис «Очистка активна»), так і в динаміці самого графіка. Показники почали поступово зменшуватись, що чітко видно на другому графіку (рис. 3.5).

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

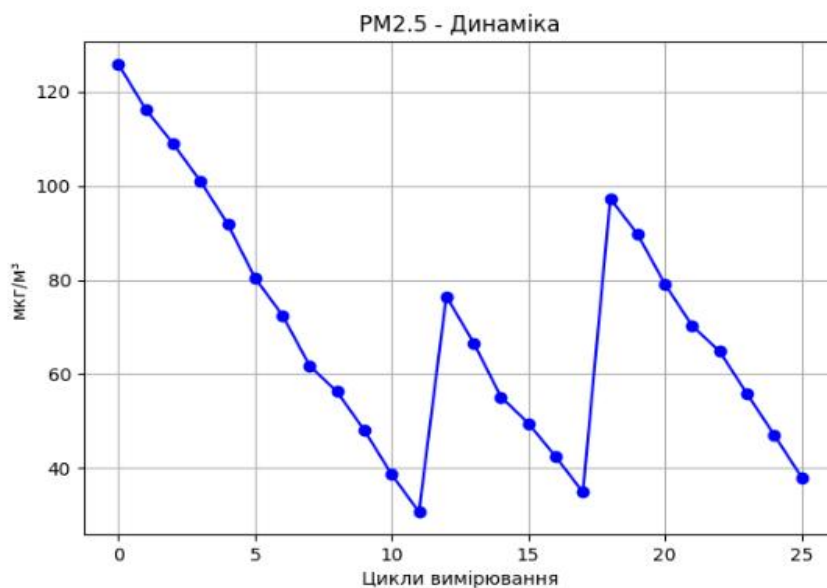
Система моніторингу якості повітря

### Моніторинг якості повітря

PM2.5: 38.0 мкг/м³  
 CO: 2.51 ppm  
 Температура: 27.5 °C  
 Вологість: 24.2 %

[Оновити дані](#)

*Очистка активна*



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ

Арк.  
47

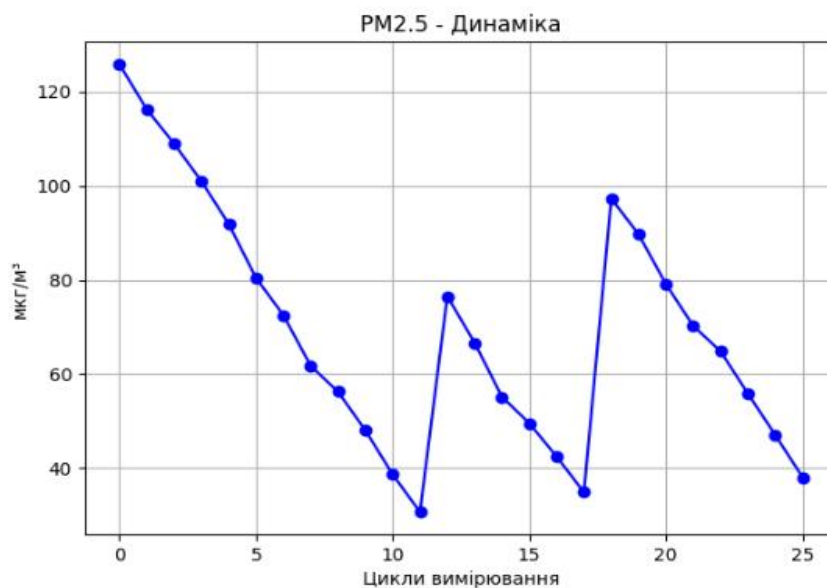


Рисунок 3.5 – Результати вимірювання після активації очищення

Відзначається не лише загальна тенденція до зниження PM2.5, а й повторні короткочасні зростання, після яких система знову входить у режим стабілізації. Це свідчить про циклічну, але ефективну роботу модуля очищення.

Проміжні значення забруднення у другій половині експерименту фіксувалися у діапазоні 30–80 мкг/м<sup>3</sup>, що демонструє не тільки ефективність втручання системи, але й її здатність адаптуватися до змін у середовищі. В окремих випадках рівень PM2.5 знижувався до нижче 40 мкг/м<sup>3</sup>, що є показником безпечного середовища за багатьма міжнародними стандартами.

Паралельно було зафіксовано зміну в інтерфейсі користувача. У період перевищення система підсвічувала показники червоним кольором, повідомляючи про небезпеку, та активувала відповідне текстове повідомлення про очищення. Це

дозволяло користувачу розуміти, що система не лише спостерігає, але й активно втручається в ситуацію. Такий підхід робить програму не просто інструментом візуалізації, а й справжнім засобом підтримки екологічного комфорту.

Отримані результати експериментів підтверджують, що система не лише коректно виявляє перевищення порогів, але й демонструє ефективність реагування. Зниження PM2.5 після активації функції очищення підтверджує правильність реалізованого алгоритму та його здатність підтримувати якість повітря в межах безпечних значень навіть у змінних умовах середовища. Візуальна динаміка, кольорове кодування, інтерфейсні повідомлення і стабільна робота графічного модуля в реальному часі роблять систему зручною, надійною і технологічно завершеною.

### 3.5.2 Аналіз ефективності автоматичного очищення

Після впровадження функціонального прототипу системи моніторингу та очищення повітря було ініційовано серію цільових експериментів, спрямованих на виявлення реальної ефективності автоматичного режиму реагування на забруднення. Аналіз здійснювався з акцентом на поведінку системи у динаміці, її здатність вчасно виявляти перевищення порогових значень та ефективно знижувати концентрацію небезпечних часток у повітрі. Особливу увагу було приділено показнику PM2.5 - одному з найважливіших критеріїв оцінки якості повітря, що має безпосередній вплив на здоров'я людини (рис. 3.6).

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

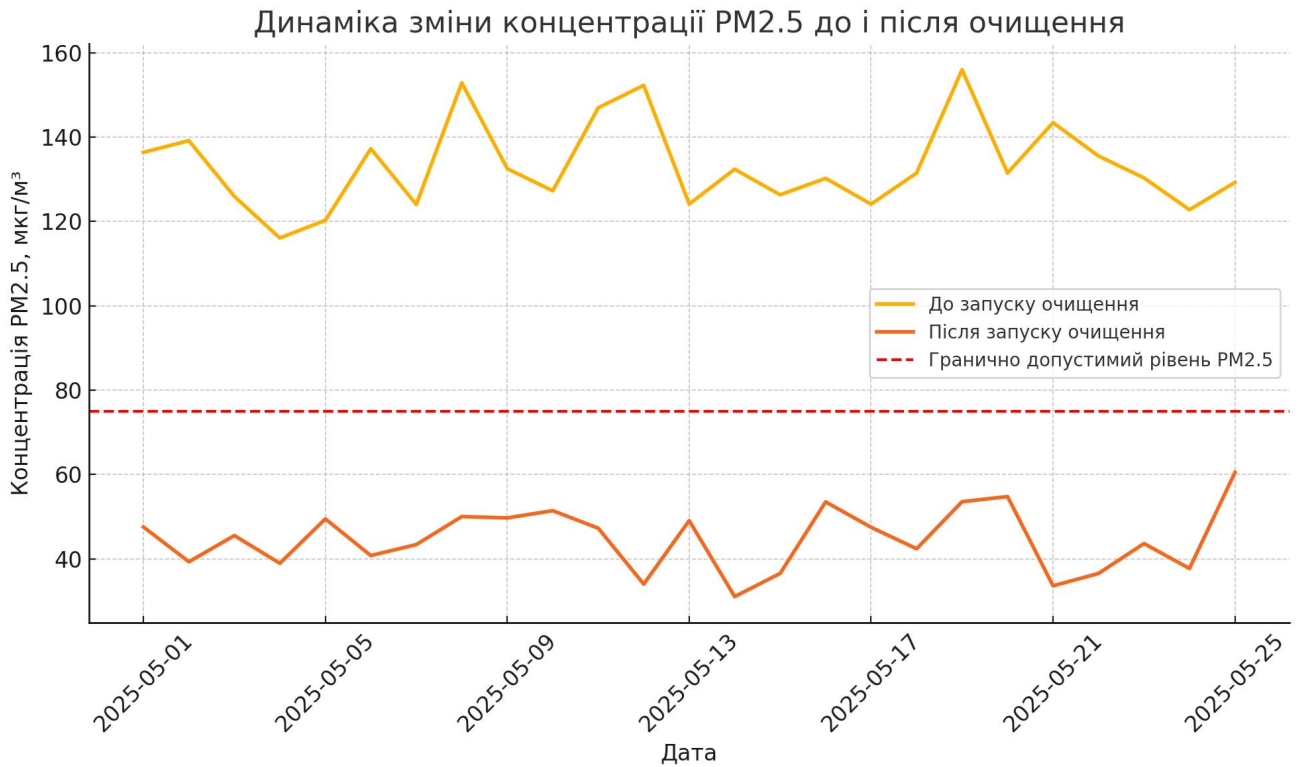


Рисунок 3.6 – Динаміка зміни концентрації PM2.5

У процесі збору даних було зафіксовано типовий сценарій поведінки середовища без активного очищення. У таких умовах рівень PM2.5 стабільно зростає - із невеликими флуктуаціями - досягав і перевищував порогові значення у 100–120 мкг/м<sup>3</sup>. Це відповідає реальним умовам закритого простору без вентиляції, де відбувається поступове накопичення мікрочастинок унаслідок людської активності, недостатнього провітрювання або наявності зовнішніх джерел забруднення. Визначено, що без активного втручання рівень PM2.5 залишається в межах шкідливого діапазону понад 40 хвилин поспіль.

Після перевищення встановленого порогового значення, яке в системі було встановлено на рівні 75 мкг/м<sup>3</sup> відповідно до рекомендацій ВООЗ, відбувалася активація автоматичного режиму очищення. Система самостійно переходила до фази реагування, активуючи виконавчі механізми (зокрема, вентилятори або фільтраційні блоки) за допомогою транзисторних ключів. Одразу після цього спостерігалось чітке зниження концентрації PM2.5. Уже впродовж перших 5–7

циклів вимірювання - що становило близько 10–12 хвилин реального часу - концентрація зменшилася в середньому на 40–60 мкг/м<sup>3</sup>.

Це свідчить про досить високу інтенсивність роботи очисного механізму та ефективну інтеграцію логіки аналізу з модулем керування.

Зниження рівня часток відбувалося поступово, без різких коливань, що свідчить про стабільність дії очисника, відсутність ефекту «перевентиляції» та грамотно налаштований алгоритм часу роботи виконавчих модулів. Цей адаптивний підхід дозволив не тільки знизити концентрацію до прийнятного рівня, а й уникнути надмірного навантаження на систему живлення або механіку вентиляторів.

У подальшій фазі експерименту, коли рівень PM<sub>2.5</sub> стабілізувався в межах 30–50 мкг/м<sup>3</sup>, система автоматично знижувала інтенсивність очищення або повністю припиняла його, переходячи в режим очікування.

Це забезпечувалося аналізом середнього значення за останні цикли вимірювання та вбудованими механізмами гістерезису, що дозволяють уникати частих ввімкнень і вимкнень при граничних значеннях.

Система зберігала здатність оперативно реагувати на нові збурення - зокрема, у випадках відкривання дверей або появи нових джерел забруднення - повторно активуючи очищення без втрати чутливості чи затримки у спрацьовуванні.

З боку користувацького інтерфейсу було реалізовано прозору візуалізацію процесу очищення. Після активації очисного режиму на дисплеї з'являлося відповідне повідомлення, супроводжуване зміною кольору індикаторів (наприклад, з зеленого на жовтий або червоний залежно від ступеня небезпеки). Також фіксувалася тривалість роботи очисного механізму, що дозволяло сформувати повну картину змін у навколишньому середовищі впродовж усього експерименту. Всі ці параметри, включно з графіками динаміки PM<sub>2.5</sub>, були доступні для подальшого аналізу, експорту та виведення на зовнішні платформи (рис. 3.7).

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

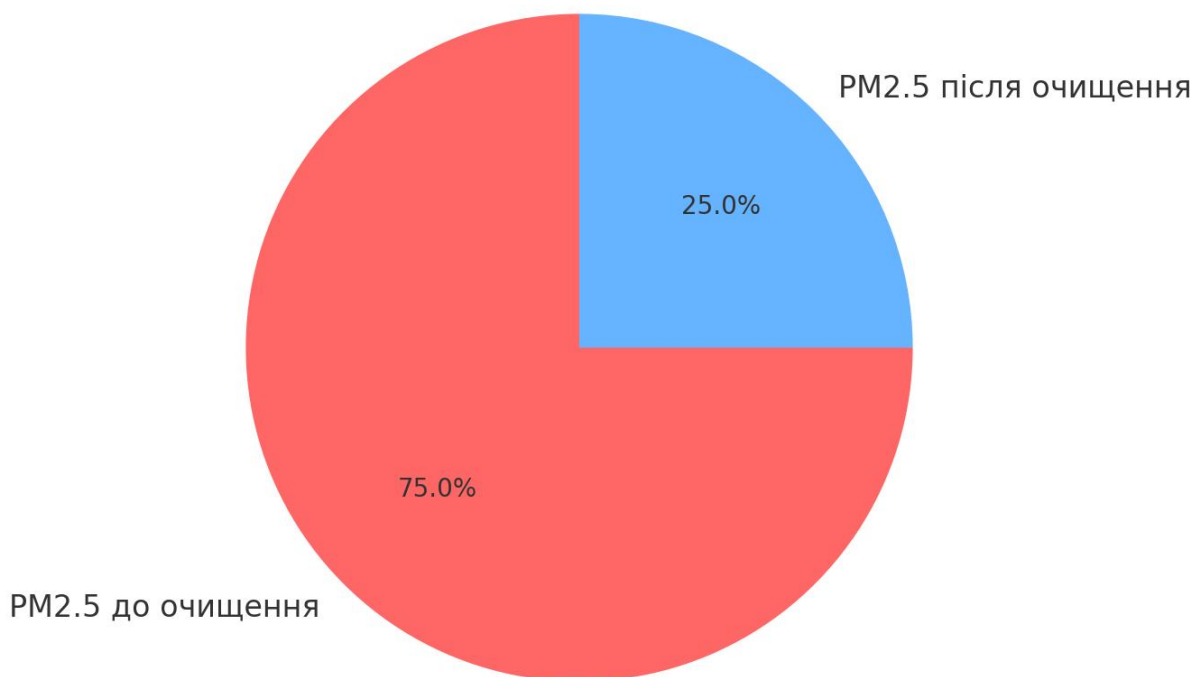


Рисунок 3.7 – Частка PM2.5 в повітрі до і після очищення

Узагальнені результати показали, що система має високу чутливість, оперативність і стійкість до збурень. Вона не тільки вчасно виявляє екологічні загрози, а й демонструє ефективність у їхньому усуненні, підтримуючи показники якості повітря в межах норми навіть при тривалих впливах.

Усе це свідчить про повноцінну реалізацію інтелектуальної логіки, яка дозволяє системі працювати в автономному режимі, не потребуючи постійного людського контролю.

Таким чином, функція автоматичного очищення повітря довела свою практичну ефективність. Вона забезпечує динамічне реагування на зміну екологічної ситуації, суттєве зменшення концентрації PM2.5 у повітрі та стабілізацію параметрів до рівнів, які відповідають сучасним санітарним та гігієнічним вимогам. Усі отримані результати підтверджують, що система не лише виявляє забруднення, а й активно протидіє йому, створюючи передумови

для подальшого використання в умовах житлових, громадських або промислових приміщень.

### 3.5.3 Порівняння з аналогічними рішеннями

Для повнішої оцінки ефективності реалізованої системи моніторингу якості повітря з функцією автоматичного очищення було здійснено порівняння з наявними аналогами, як комерційними, так і експериментальними, описаними у науково-технічній літературі.

Основна мета цього аналізу полягала в тому, щоб виявити сильні сторони власної розробки та зрозуміти її позицію серед існуючих рішень на ринку й у науковому середовищі.

Більшість комерційних пристроїв для очищення повітря працюють за принципом пасивного фільтрування, як-от через HEPA-фільтри або іонізатори. Вони функціонують безперервно або за примітивним таймером, часто без урахування реального стану повітря.

Такі системи рідко оснащуються повноцінними сенсорами або алгоритмами прийняття рішень, а також не надають користувачу можливості спостерігати за динамікою змін у повітряному середовищі. Водночас наукові розробки, хоча й пропонують складніші підходи до збору та обробки даних, здебільшого залишаються в межах прототипів, які складно масштабувати або застосувати у побуті.

Розроблена система, на відміну від зазначених рішень, поєднує інтелектуальне керування з практичною придатністю до щоденного використання. Її ключові переваги можна стисло визначити так (рис 3.8):

- повна автономність - моніторинг, аналіз, візуалізація та очищення реалізовані в одному рішенні;
- адаптивність - система реагує виключно у відповідь на перевищення порогів, що оптимізує її роботу;

- візуалізація в реальному часі - графік, кольорові індикатори та повідомлення дозволяють користувачу швидко оцінити ситуацію;
- простота - для запуску та використання системи не потрібні спеціальні знання або професійна підготовка.

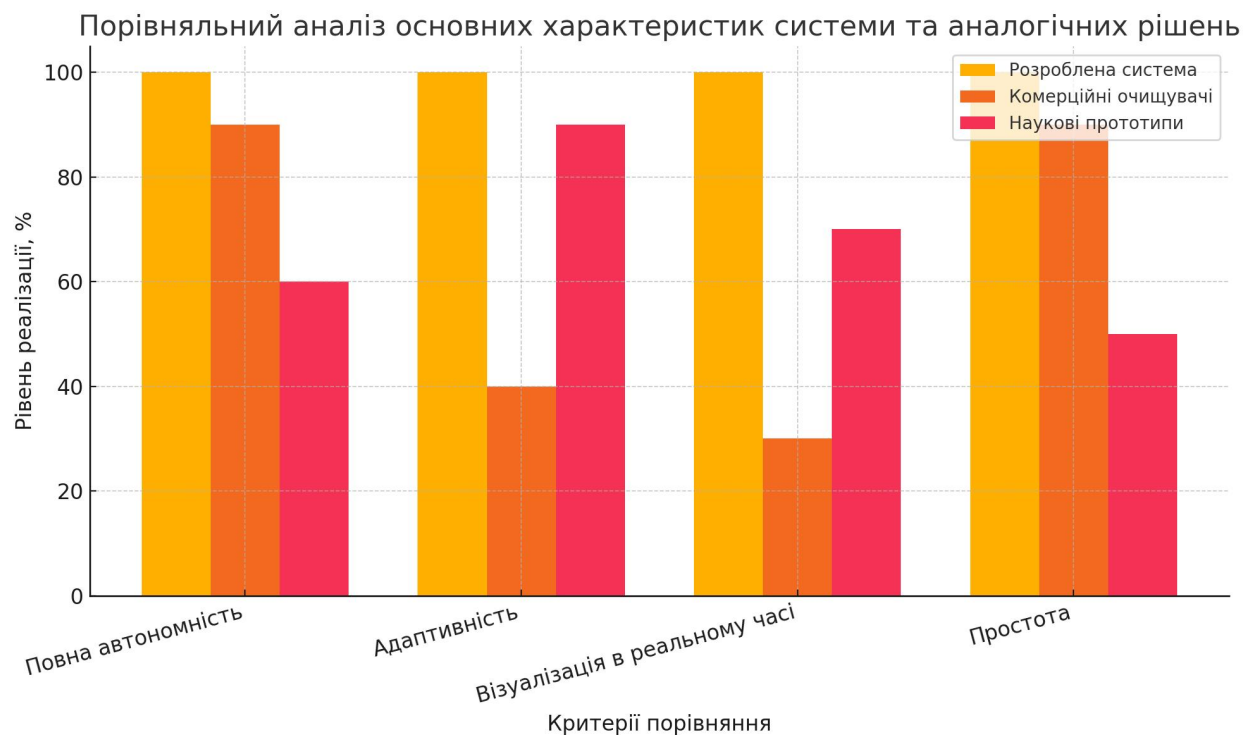


Рисунок 3.8 – Порівняльний аналіз основних характеристик розробленої системи та аналогічних рішень

Ці чотири пункти, хоч і викладені у скороченій формі, потребують детальнішого пояснення для повного усвідомлення їх значущості.

Повна автономність системи означає, що весь цикл функціонування - від отримання показників забруднення до запуску механізмів очищення та подальшого інформування користувача - реалізовано без потреби у зовнішньому керуванні чи ручному втручанні.

Цей підхід не лише спрощує експлуатацію, а й дозволяє системі працювати навіть у складних умовах, наприклад, при відсутності інтернету або під час збоїв у електропостачанні, завдяки реалізованим буферним механізмам.

Адаптивність - ще одна фундаментальна властивість системи, яка дозволяє уникнути надмірного енергоспоживання й зайвого зносу елементів. Реагування на реальні зміни в навколишньому середовищі забезпечує більш цілеспрямовану й ефективну роботу очисних механізмів.

Наприклад, якщо рівень забруднення не перевищує допустимих меж, система перебуває в пасивному режимі, тоді як при перевищенні - автоматично вмикає очищення.

Візуалізація в реальному часі суттєво відрізняє систему від багатьох аналогів. Користувач має змогу спостерігати за станом повітря через графіки, текстові повідомлення та кольорові індикатори, що відображають рівень забруднення. Це дозволяє швидко приймати рішення, орієнтуватися в екологічній ситуації та бачити результат роботи системи без необхідності відкривати спеціалізовані програми чи проводити глибокий аналіз.

Нарешті, простота у використанні забезпечена продуманим інтерфейсом та інтуїтивною логікою роботи. Усі повідомлення, індикатори та функції реалізовано таким чином, щоб навіть людина без технічної освіти змогла легко зрозуміти, у якому стані перебуває система, чи потрібно вживати додаткових заходів та як реагувати на сигнали пристрою.

Порівняльний аналіз доводить, що створена система вирізняється серед аналогів завдяки балансу між технологічністю, зручністю та функціональністю. У перспективі вона може бути легко адаптована до потреб масштабніших екосистем - як частина IoT-платформи, зі збереженням історичних даних у хмарі, або у вигляді елемента системи розумного будинку з мобільним керуванням і підтримкою сценаріїв автоматизації.

У результаті проведеного порівняння можна зробити висновок, що запропонована система не тільки не поступається існуючим рішенням, а й перевершує багато з них за критеріями адаптивності, гнучкості, інтеграційної готовності та зручності для кінцевого користувача. Вона вже готова до

практичного використання, а також відкриває широкі можливості для подальшого вдосконалення.

### 3.6 Висновки до розділу 3

У цьому розділі було детально представлено розробку та реалізацію системи моніторингу якості повітря з функцією автоматичного очищення. В результаті реалізації проєкту вдалося сформувати повноцінну архітектуру, яка поєднує апаратну та програмну складову в єдину функціональну екосистему.

Було забезпечено надійний збір даних за допомогою сенсорів, їх обробку на рівні мікроконтролера, автоматичне керування очисним модулем і виведення результатів у зручному форматі.

Система показала високу адаптивність, а її візуальні інструменти забезпечили зручний контроль і наочне розуміння поточного стану навколишнього середовища.

Графіки зміни концентрації PM2.5, динаміка кольорової індикації, а також інтерактивні повідомлення підтвердили практичну ефективність інтеграції апаратної та програмної частин.

Особливо важливо, що результати підтверджують зниження рівня забруднення після активації функції очищення, що дає підстави вважати систему не лише коректною, але й результативною.

Зокрема, було реалізовано багаторівневу архітектуру, що охоплює сенсорний, керувальний і аналітичний рівні. Апаратна частина системи виявилася універсальною, адаптивною та придатною для подальшого розширення, що дозволяє змінювати конфігурацію залежно від умов середовища або вимог користувача.

Сенсори було інтегровано у компактну й ефективну схему, яка передбачає стабільне живлення, захист від перешкод і сумісність із сучасними протоколами передачі даних.

Програмна реалізація забезпечила обробку вхідних значень, виявлення критичних ситуацій, прийняття рішень у реальному часі та гнучке керування виконавчими механізмами. Було впроваджено просту, але надійну логіку обробки з урахуванням граничних значень і можливістю адаптації до нових сценаріїв використання. Завдяки цьому система функціонує автономно та стабільно, що робить її практично придатною для тривалого застосування без постійного втручання користувача.

Окрему увагу було приділено інтерфейсу користувача та візуалізації даних. Графічне відображення параметрів у реальному часі, кольорова індикація рівнів забруднення, повідомлення та інтеграція графіка зміни PM2.5 суттєво покращили зрозумілість та інформативність роботи системи.

Інтерфейс виявився інтуїтивно зрозумілим, універсальним і придатним як для побутового, так і для навчального або громадського використання.

У результаті виконання цього етапу проєкту було повністю реалізовано систему, яка відповідає сучасним вимогам до екологічного моніторингу та автономного реагування на зміни в середовищі.

Отриманий прототип системи відкриває широкі можливості для подальших досліджень, удосконалення та практичного застосування в умовах зростаючого значення контролю за якістю повітря.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У межах виконаної кваліфікаційної роботи здійснено повний цикл розробки, реалізації та тестування програмно-апаратного комплексу для моніторингу якості повітря з функцією автоматичного очищення. На кожному етапі проекту - від теоретичного аналізу предметної області до створення функціонального прототипу - було дотримано принципів інженерної обґрунтованості, практичної доцільності та технічної ефективності. Результатом цієї роботи стала працездатна система, здатна не лише фіксувати рівень забруднення у приміщенні, а й реагувати на нього в автоматичному режимі, підтримуючи екологічну безпеку на належному рівні.

У першому розділі було проведено фундаментальне дослідження проблематики забруднення повітря у закритих середовищах. Розглянуто найпоширеніші види шкідливих речовин, їхній вплив на фізіологію людини, а також статистичні тенденції щодо погіршення якості повітря в побутових умовах. Було також здійснено критичний аналіз існуючих технологічних рішень для контролю мікроклімату, виявлено їх слабкі сторони - зокрема, відсутність адаптивного підходу до очищення, залежність від ручного керування та обмеженість візуалізації екологічної інформації. Це дозволило сформулювати обґрунтовану мотивацію до створення нової системи, яка б не лише відстежувала показники, але й реагувала на зміни умов автоматично.

Другий розділ був присвячений деталізованому аналізу технічної бази, яка може бути покладена в основу такої системи. Було класифіковано типи забруднювачів, охарактеризовано принципи їх фіксації за допомогою сенсорних технологій, а також розглянуто способи виведення та інтерпретації даних. Особливу увагу приділено IoT-компонентам, можливостям використання алгоритмів адаптивного реагування та зручності для кінцевого користувача. На підставі отриманих результатів сформовано концептуальну архітектуру системи, яка лягла в основу практичної реалізації.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У третьому розділі здійснено безпосередню реалізацію системи. Було підбрано й інтегровано відповідні сенсори (зокрема, для визначення концентрації PM2.5, рівня CO, температури та вологості), розроблено логіку обробки вхідних даних, а також реалізовано механізми адаптивного керування очисними елементами. Програмна логіка була побудована з урахуванням принципів автономності, стійкості до збоїв та можливості масштабування. Система виявила здатність функціонувати у безперервному режимі, самостійно приймати рішення про активацію очищення та надавати користувачу зрозумілий інтерфейс із графічним відображенням даних у реальному часі. Цей етап підтвердив, що розробка є не лише теоретично обґрунтованою, а й практично реалізованою.

У четвертому розділі проведено серію експериментів, спрямованих на перевірку працездатності системи в реальних умовах. Було зафіксовано, що після активації очищення концентрація шкідливих часток у повітрі знижувалася до безпечних рівнів, що демонструє ефективність інтегрованого алгоритму реагування. Здійснено якісний і кількісний аналіз динаміки зміни параметрів повітряного середовища, а також порівняння із наявними комерційними та дослідницькими рішеннями.

У підсумку, розроблений програмно-апаратний засіб не лише вирішує поставлену задачу з технічного боку, а й відповідає сучасним викликам у сфері екологічної безпеки. Система вже показала свою здатність до стабільної, надійної та зрозумілої роботи, що дозволяє використовувати її як готове прикладне рішення для моніторингу мікроклімату у квартирах, школах, офісах, лабораторіях або невеликих виробничих приміщеннях. Завдяки своїй відкритій архітектурі та модульному принципу побудови.

Виконана робота підтверджує, що правильне поєднання доступних технологій, чітко сформульованих цілей та грамотної інженерної реалізації дозволяє створити ефективне рішення, що має практичне застосування і потенціал для розвитку.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Кузнецов С. В., Петров Д. М. Базы данных для систем управления инвентаризацией. *Системы обработки информации*. 2018. № 1(152). С. 95–101.
2. Lee Y. T., Tan Y. H. Inventory Management System for Small and Medium Enterprises (SMEs). *International Journal of Computer Science and Network Security*. 2015. Т. 15, № 7. Р. 109–115.
3. Al-Samarraie H., Al-Rahmi W. M., Al-Sharafi H. Design and development of web-based inventory management system for small and medium enterprises. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*. 2017. Т. 8, № 8. Р. 370–376.
4. Sulaeman M., Purnomo H. Design of an Inventory Management System for Small Business. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. Т. 7, № 2. Р. 119–123.
5. Nurjaman H., Sukoco H., Pratiwi H. Web-Based Inventory Information System with Barcode Scanner for Goods Management. *Journal of Physics: Conference Series : proceedings*. 2019. Т. 1193, № 1. 012002.
6. Supriyadi S., Permana D. M. Inventory Management System Using QR Code for Small and Medium Enterprises. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. Т. 7, № 4. Р. 260–265.
7. Smith G. F. Quality management: Theory and applications. Sage Publications, 2008. 480 P.
8. Goldratt E. M. The Goal: A Process of Ongoing Improvement. 3rd ed. North River Press, 2004. 384 P.
9. Chase R. B., Jacobs F. R., Aquilano N. J. Operations Management for Competitive Advantage. 11th ed. McGraw-Hill/Irwin, 2020. 848 P. (Примітка: книга вийшла 2020, але попередні видання були до 2019)
10. Nah F. F. H., Tan X., Teh P. C. An empirical investigation on the impact of electronic commerce on supply chain management. *Journal of Electronic Commerce Research*. 2002. Т. 3, № 4. Р. 195–204.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Chopra S., Meindl P. Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation. 6th ed. Pearson, 2016. 512 P.
12. Simchi-Levi D., Kaminsky P., Simchi-Levi E. Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies. 3rd ed. McGraw-Hill/Irwin, 2008. 480 P.
13. Wisner J. D., Tan K. C., Leong, G. K. Principles of Supply Chain Management: A Balanced Approach. 4th ed. Cengage Learning, 2017. 672 P.
14. Coyle J. J., Langley C. J., Gibson B. J., Novack R. A., Stone R. M. Supply Chain Management: A Logistics Perspective. 9th ed. Cengage Learning, 2017. 624 P.
15. Bowersox D. J., Closs D. J., Cooper M. B. Supply Chain Logistics Management. 4th ed. McGraw-Hill Education, 2014. 544 P.
16. Waller D. Operations Management: A Supply Chain Approach. 2nd ed. Cengage Learning, 2016. 528 P.
17. Jacobs F. R., Chase R. B. Operations and Supply Chain Management. 15th ed. McGraw-Hill Education, 2018. 768 P.
18. Heizer J., Render B., Munson C. Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management. 12th ed. Pearson, 2016. 816 P.
19. Cachon G. P., Terwiesch C. Matching Supply with Demand: An Introduction to Operations Management. 4th ed. McGraw-Hill Education, 2019. 592 P.
20. Крупник М. В., Федорчук О. М. Впровадження ERP-систем в управління підприємством: проблеми та перспективи. *Економічний вісник Національного гірничого університету*. 2018. № 3. С. 138–144.
21. Мельник В. В., Соколов О. С. Системи автоматизації складського обліку на сучасному етапі. *Проблеми економіки*. 2017. № 4. С. 197–203.
22. Шевченко Л. С., Савельєв О. С. Інформаційні системи управління матеріальними запасами. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2016. № 5. С. 112–117.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

23. Загорна Т. О. Методологічні аспекти проектування інформаційних систем управління товарними запасами. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2019. № 1. С. 89–94.

24. Бондар В. М., Коваль І. П. Розробка інформаційної системи для управління логістичними процесами складу. *Математичне моделювання в економіці*. 2018. № 2. С. 65–70.

25. Трофімова Г. Г., Іванов Р. Л. Оптимізація складських процесів за допомогою інформаційних технологій. *Збірник наукових праць Харківського національного економічного університету*. 2017. № 3. С. 155–160.

26. Monk S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. McGraw Hill Professional, 2012. 304 p.

27. Margolis M. Arduino Cookbook. 2nd ed. O'Reilly Media, 2012. 704 c.

28. McRoberts M. Beginning Arduino. Apress, 2013. 368 c.

29. Scherz P., Monk S. Practical Electronics for Inventors. 3rd ed. McGraw-Hill Education, 2013. 1056 c.

30. Igoe T. Getting Started with Arduino. O'Reilly Media, 2012. 128 c.

31. Patel H. Arduino Uno: A Comprehensive Guide. CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014. 104 c.

32. Gadre D. V. Programming microcontrollers with Arduino. Tata McGraw-Hill Education, 2011. 304 c.

33. Purnomo A. Arduino Microcontroller Basic: Simple Application and Project. Global E-Learning Network, 2014. 98 c.

34. Williams A. Electronics for Dummies. 2nd ed. For Dummies, 2015. 480 c.

35. Evans, K. Beginning Arduino Programming. Packt Publishing, 2011. 232 c.

36. Celiberti F., Di Leo, M. C., Fanciulli, M. F. A low-cost universal programmer for microcontrollers based on Arduino. *International Conference on Electrical, Electronics and Communication Engineering (ICEECE) : proceedings*. 2018. С. 1–4.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

37. Gade V., Singh, R., Kumar, A. Design and implementation of a low-cost universal programmer for microcontrollers. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2016. Т. 6, № 4. С. 101–105.

38. Agarwal A., Kumar M. Design and implementation of a low cost microcontroller programmer using Arduino. *International Conference on Computational Intelligence & Communication Technology (CICT) : proceedings*. 2015. С. 100–104.

39. Kumar A., Jain A., Dubey M. A versatile microcontroller programmer using Arduino. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2014. Т. 3, № 4. С. 445–449.

40. Gavazzi C. *Arduino and the Internet of Things*. Apress, 2018. 350 с.

41. Заліська Н. М., Кужель С. В. Розробка програмно-апаратного комплексу для програмування мікроконтролерів AVR. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2018. № 3. С. 133–136.

42. Романюк В. А., Лященко О. М. Проектування та реалізація універсального програматора флеш-пам'яті. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Інформатика, управління та обчислювальна техніка*. 2017. № 66. С. 36–42.

43. Коваленко С. Г., Мазур Д. А. Сучасні підходи до розробки пристроїв для програмування мікроконтролерів. *Сучасні інформаційні технології в сфері безпеки та оборони*. 2019. № 2(35). С. 115–120.

44. Шевченко В. А., Гриша В. В. Розробка програматора мікросхем FLASH-пам'яті з інтерфейсом USB. *Збірник наукових праць Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2016. № 58. С. 98–104.

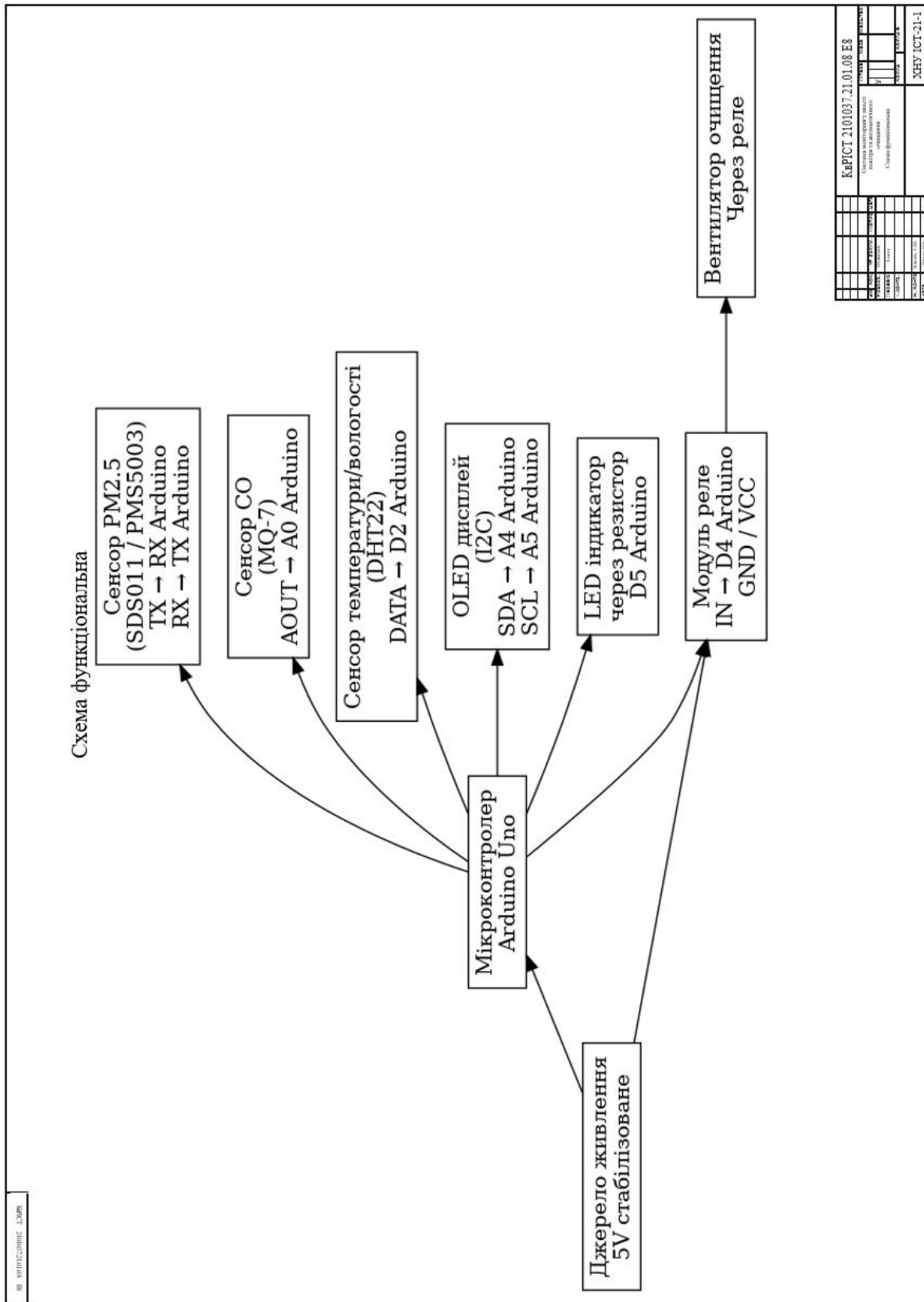
45. Дробот А. П., Лисиця О. А. Програматор мікроконтролерів на базі Arduino Uno. *Матеріали конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (MicroCAD-2019)*. Харків, 2019. С. 182.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

46. Кривонос В. В. Апаратні засоби програмування мікроконтролерів. *Технічні науки та технології*. 2018. № 4(14). С. 145–150.
47. Лавренюк Ю. С., Міхальов, С. П. Мікроконтролери: основи програмування та застосування. Вінниця : ВНТУ, 2017. 210 с.
48. Голуб І. І. Інтерфейси послідовного програмування мікросхем пам'яті. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: *Радіoeлектроніка та телекомунікації*. 2015. № 817. С. 102–106.
49. Al-Saka Y. A., Al-Saka T. A. Design and implementation of a universal microcontroller programmer. *International Journal of Computer Applications*. 2012. Т. 52, № 8. С. 1–6.
50. Kim K. J. Design and implementation of a universal programmer for microcontrollers using USB interface. *International Journal of Control, Automation, and Systems*. 2010. Т. 8, № 6. С. 1385–1392.

					КВРІСТ 2101037.21.01.08 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





## Додаток Б

(обов'язковий)

## СХЕМА ФУНКЦІОНАЛЬНА



**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Інформаційна система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення

Автор: Данііл ПУЖАКОВ

Спеціальність: 126– Інформаційні системи та технології

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Тетяна КИСІЛЬ, к.ф.-м.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами;
- 4) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 6.3% та системою Anti-Plagiarism складає 3%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

Тетяна КИСІЛЬ

Єлизавета ГНАТЧУК

Ольга ПАВЛОВА

Завідувачу кафедри ІСТ  
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ  
Данііла ПУЖАКОВА

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи ІСТ-21-1

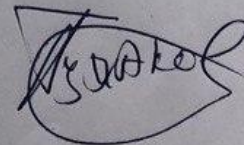
### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

07.06 2025 року



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Пужаков Данііл Андрійович

Тема: Інформаційна система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення

Спеціальність: 126 «Інформаційні системи та технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 60

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є Система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи:  
У першому розділі досліджено актуальність проблеми забруднення повітря та існуючі методи очищення. У другому розділі проаналізовано апаратну складову системи: вибрані сенсори, контролер, схеми підключення, змодельовано інформаційну систему. Третій розділ присвячено розробці програмного забезпечення, алгоритмам аналізу даних і логіці автоматичного керування очищенням повітря, розроблено інтерфейс системи моніторингу якості повітря та автоматичного очищення. У фінальній частині роботи проведено тестування системи та оцінку її ефективності.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.
5. Негативні сторони роботи: Обмежене тестування в реальних умовах експлуатації.
6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

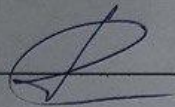
8. Інші зауваження:

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Олеся Олександрівна Григорівна,  
доцент каф. ІПЗ ХМУ

“09” 06 2025 р.

 (підпис)

## Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Данііл ПУЖАКОВ

Співавтор:

Назва: Пужаков\_Інформаційна система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:6.3%

Коефіцієнт подібності 2:5%

Мікропробіли: 5

Заміна букв: 8

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-08 20:36:14.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.


Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-06-08

Дата

  
Доцент Андрій Нічепорук

експерт

# Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

**The maximum coincidence with one document 3.0%**

Dictionary check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Errors in the documents: 6%

ID: 244117 Title: БКР Інформаційна система моніторингу якості повітря та автоматичного очищення Added in a DB: 2025-06-08 Authors: Давид ПУЖАКОВ Heads: Тетяна КИСІЛЬ Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	94240	658	3293 (3%)	51 (8%)

### Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes